



# **REF615-JOHDONSUOJARELEEN KÄYTTÖÖNOTTO OPETUSYMPÄ- RISTÖSSÄ**

Heikki Seppälä

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

SEPPÄLÄ, HEIKKI:

REF615-johdonsuojareleen käyttöönotto opetusympäristössä

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Toukokuu 2015

---

Opinnäytetyön lähtökohtana oli Tampereen ammattikorkeakoulussa tehty päätös modernisoida sähkölaboratorion relesuojatekniikan opetuslaitteistoa ABB:lta saadulla REF615-johdonsuojareleellä. Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä kyseisen suojareleen toimintaan ja sen ominaisuuksiin sekä lopulta kytkeä ja ohjelmoida se toimivaksi kokonaisuudeksi opetuskäyttöön laboratorion sähköverkkomallin rinnalle. Opinnäytetyössä esiteltiin myös yleisesti keskijänniteverkon relesuojasta, erilaisia suojareleitä ja verkon vikatilanteita.

Johdonsuojareleen REF615 toiminnallinen päätarkoitus on keskijänniteverkon ylivirta- ja maasulkusuojaus, ja se sisältää myös jälleenkytkentäautomaatiikan. Nämä suojaustoiminnot oli saatava toimintaan, jotta rele voitaisiin ottaa opetuskäyttöön sähkövoimatekniikan laboratoriossa. Rele kytkettiin verkkomalliin ja se parametroidiin laboratoriotyön vaatimilla asetteluarvoilla. Suojareleen toimintaa testattiin simuloiduilla vikatilanteilla ja releellä saatiin toteutettua ylivirta- ja maasulkusuojaustoiminnot onnistuneesti. Lopuksi releeseen luotiin sellainen jälleenkytkentäkonfiguraatio, jonka avulla oppilastyössä vaadittava sekvenssi voitiin toteuttaa.

Suojareleestä saatiin laboratoriossa toimiva kokonaisuus, joka on nyt mahdollista ottaa opetuskäyttöön. Vanhempia laitteita monimutkaisempana releen käyttö vaatii kuitenkin ensin opetushenkilöiden perehdyttämistä. Myös relesuojatekniikan laboratoriotyöohjeet päivitettiin koskemaan uutta laitteistoa. Ennen releen käyttöönottoa sen ympärille on rakennettava suojakotelo, johon tuodaan laitteen kytkentään tarvittavat liitäntäpisteet. Koteloinnilla varmistetaan kosketussuojaus jännitteisiltä riviliittimiltä ja johtimilta.

---

Asiasanat: johdonsuojarele, relesuojaus, keskijänniteverkko, maasulkusuojaus, ylivirtasuojaus, jälleenkytkentä

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

SEPPÄLÄ, HEIKKI:

The Implementation of a Feeder Protection and Control Relay REF615 in an Educational Environment

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 7 pages  
May 2015

---

The teaching equipment related to relay protection technology in the electrical laboratory of Tampere University of Applied Sciences had been decided to be modernized. The laboratory had obtained a feeder protection and control relay REF615 from ABB. The purpose of this thesis was to examine the use and features of the relay, and finally connect and program it to work alongside with the laboratory's own medium voltage grid model. This thesis also covers the relay protection in a medium voltage grid at a general level, including information about various types of protection relays and different grid failure conditions.

The main protective functions of the feeder protection and control relay REF615 are overcurrent and earth-fault protection, and the relay has also an integrated auto-reclosing functionality. These functions will have to work properly so that the relay can be taken into educational use. The relay was connected to the grid model and the right parameter values were set according to the needs of the laboratory exercises. The operation of the relay was tested with simulated fault situations and the overcurrent and earth-fault protection functions were carried out successfully. Eventually the relay was configured with proper auto-reclosing configuration, so that the necessary sequence could be carried out.

As the relay unit was working properly, it could be now introduced as a teaching tool in the laboratory. Working with the new relay is much more complicated than using the older relays, so the relevant teachers should be properly introduced to the new equipment. The instructions for the student work were also updated to include the new hardware. Before the commissioning of the new relay a protective case with the necessary connection points is to be built. The casing ensures protection from live terminals and conductors.

---

Key words: protection relay, earth fault, overcurrent, auto-reclosing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	RELESUOJAUS SÄHKÖNSIIRTOVERKOSSA.....	7
2.1	Yleistä relesuojauksesta.....	7
2.2	Erilaiset suojareletyypit .....	8
2.2.1	Ylivirtarele .....	9
2.2.2	Ylijännite-/alijänniterele .....	12
2.2.3	Maasulun suuntarele ja nollavirtarele .....	13
2.2.4	Distanssirele .....	13
2.2.5	Differentiaalirele .....	13
2.2.6	Taajuusrele .....	14
2.2.7	Epäsymmetriarele.....	14
2.2.8	Jälleenkytkentärele .....	14
2.3	Verkon viat .....	15
2.3.1	Oikosulku .....	16
2.3.2	Maasulku .....	16
2.3.3	Johdinkatkos.....	16
2.3.4	Ylikuormitus .....	17
2.4	Keskijänniteverkon maadoitustavat.....	17
3	SÄHKÖLABORATORION LAITTEISTO.....	19
3.1	Johdonsuojarele REF615 .....	19
3.2	Laboratorion sähköverkkomalli .....	22
3.3	Sähkölaboratorion suojareleisiin liittyvät oppilastyöt .....	24
4	REF615-RELEEN KÄYTTÖÖNOTTO .....	26
4.1	Ensikäynnistys ja käyttöliittymät.....	26
4.2	Kytkeä keskijänniteverkkomalliin .....	27
4.3	Rele verkkomallissa .....	28
4.3.1	Ylivirtasuojauksen toteutus.....	28
4.3.2	Maasulkusuojauksen toteutus .....	29
4.3.3	Jälleenkytkennän johdotus .....	30
4.3.4	Ongelmat jälleenkytkentäsyklin toiminnassa.....	31
4.3.5	Jälleenkytkennän toimintaan saatto.....	31
4.4	Laitteiston kotelointi .....	34
4.5	Laboratorioohjeet.....	35
5	POHDINTA.....	36
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	38

Liite 1. Johdonsuojareleen REF615 tekniset tiedot (ABB 2008) .....	38
Liite 2. REF615-releen kytkentäkaavio vakiokokoonpanossa J. (ABB 2012. REF615, Application manual) .....	39
Liite 3. REF615-johdonsuojareleen kaavio sisääntuloista ja lähdöistä (ABB 2012. REF615, Application manual) .....	40
Liite 4. Relesuojaustekniikka 1- oppilastyön uudistettu työohje .....	41

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on modernisoida Tampereen ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa opetuskäytössä olevaa relesuojauslaitteistoa ottamalla käyttöön ABB:n valmistama johdonsuojarele REF615. Tavoitteena on tutustua uuden releen toimintaan ja sen erilaisiin käyttöliittymiin, sekä kytkeä rele olemassa olevaan keskijänniteverkkomalliin. Rele parametroidaan toimimaan johdonsuojana oppilastyössä simuloitavissa ylivirta- ja maasulkutilanteissa, sekä ohjelmoidaan rele suorittamaan pika- ja aikajälleenkytkentätoiminnot halutulla tavalla.

Lopuksi laaditaan uudet työohjeet laboratoriotyöhön, joissa ohjeistetaan uuden johdonsuojareleen käyttöön sekä pyritään tutustuttamaan oppilaita käänteisaikahidasteisen releen toimintaan lisätehtävän kautta. Työssä käydään myös pintapuolisesti läpi teoriaa keskijänniteverkon relesuojauksesta, suojauslaitteistoista sekä erilaisista vikatilanteista. Tässä opinnäytetyössä yleisanalla ”rele” tarkoitetaan keskijänniteverkon suojarelettä.

## 2 RELESUOJAUS SÄHKÖNSIIRTOVERKOSSA

### 2.1 Yleistä relesuojauksesta

Suojareleet muodostavat yhdessä mittamuuntajien ja katkaisijoiden kanssa keskijännite- ja suurjänniteverkon laitteita suojaavan kokonaisuuden. Relesuojauksella pyritään suojaamaan sähkönsiirtojärjestelmää ja siihen kuuluvia komponentteja erilaisilta verkossa tapahtuvilta vikatilanteilta. Releet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja vian ilmetessä antavat asetteluarvojensa mukaisesti katkaisijoille käskyn erottaa vikaantunut osa verkosta. Yleisiä verkossa ilmeneviä vikoja ovat oikosulut, maasulut, ylijännitteet, alijännitteet ja johdinkatkokset. (Mörsky 1992, 15–16; Korpinen 1998; Elovaara & Haarla 2011, 330–336)

Relesuojauksen päätehtävä on havaita verkossa ilmenevät vikatilanteet ja rajoittaa vika-alue mahdollisimman pieneksi. Relesuojauksen toiminnalla on seuraavat useissa lähteissä esiintyvät vaatimukset:

- *”Toiminnan on oltava selektiivistä, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä”*
  - *”Toiminnan on tapahduttava riittävän nopeasti ja herkästi niin, että vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuuden tulee säilyä kaikissa olosuhteissa.”*
  - *”Suojuksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä.”*
  - *”Sen on oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen.”*
  - *”Käytettävyyden tulee olla hyvä.”*
  - *”Suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla”*
  - *”Suojuksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen.”*
- (Mörsky 1992, 15–16; Korpinen 1998)

Suojattaessa keskijänniteverkkoa suojarele voidaan liittää suoraan sähköverkon päävirtapiiriin; tällaisista releistä käytetään nimeä ”ensiö”- tai ”primäärirele”. Paljon yleisempi suojareletyyppi on kuitenkin ”toisio”- eli ”sekundäärireleet”, jotka kytketään päävirtapiiriin mittamuuntajien välityksellä. (Elovaara & Laiho 1988, 389)

Reletyypistä riippumatta suojareleillä on yhteinen toimintakaava. Kun releen tarkkaileman suuren arvo ylittää releelle asetellun toiminta-arvon, tapahtuu releen ”havahtuminen”. Rele pysyy havahtuneena kunnes aseteltu havahtumisaika ylittyy, jolloin rele antaa katkaisijalle laukaisukäskyn. Jos releen mittaama suure palautuu alle asetellun toi-

minta-arvon releen vielä ollessa havahtuneena, se palautuu normaalitilaansa. Releen havahtumisesta laukaisukäskyn antamiseen kuluvaa aikaa kutsutaan releen ”toiminta-ajaksi” (Elovaara & Haarla 2011, 344)

## 2.2 Erilaiset suojareletyypit

Ensimmäiset suojareleet olivat sähkömekaanisia, eli rele reagoi suoraan sähkövirran aiheuttaman magneettikentän muutokseen aiheuttaen mekaanisen liikkeen avulla virtapiirin katkaisun. Sähkömekaaniset releet ovat käytännössä tehollisarvoa mittaavia tekniikaltaan yksinkertaisia kojeistoja, joissa on paljon liikkuvia osia ja joille on ominaista liikkuvien osien hitaus. Tästä syystä ne ovat joihinkin sovelluksiin nopeudeltaan täysin riittämättömiä. Mekaanisia releitä on vielä käytössä sähköverkossa, mutta valmistusmääriä vähennetään jatkuvasti. 1960-luvulla käytössä yleistyivät staattiset eli elektroniset releet, joissa mekaanisesti liikkuvat osat oli korvattu puolijohdekomponenteilla ja mikropiireillä. Staattiset releet saavat energiansa apusähköliitännästä, joten niiden mitauspiirissä on vähäinen kuormitus. Elektroniikkaa hyödyntämällä staattisista suojareleista saatiin tarkempia ja monipuolisempia, mutta myös kestoiltaan heikompia. Ne vaativat myös enemmän huoltoa. (Mörsky 1992, 22–24; Elovaara & Haarla 2011, 344–345)

Nykyaikaisessa relesuojauksessa käytetään suurimmalta osalta digitaalisia releitä. Tämän tyyppin releiden suojausominaisuudet ovat äärimmäisen monipuolisia ja releiden asetteluarvoilla suojaustoimintoja voi muokata tarkasti suojattavan kohteen mukaiseksi. Digitaalisissa releissä on yleensä integroitu itsevalvonta, jolloin rele tutkii omaa toimintaansa ja ilmoittaa mahdollisista vioista. Laitteiden monimutkaisuudesta johtuen digitaalisten releiden asetteluarvojen parametointi vaatii hyvin asiaan perehtynyttä ammattilaista, ja digitaalisten releiden muita reletyyppejä suurilukuisemmat virhelaukaisut johtuvat useimmiten inhimillisistä parametointi- tai kytkentävirheistä. (Elovaara & Haarla 2011, 344–345)



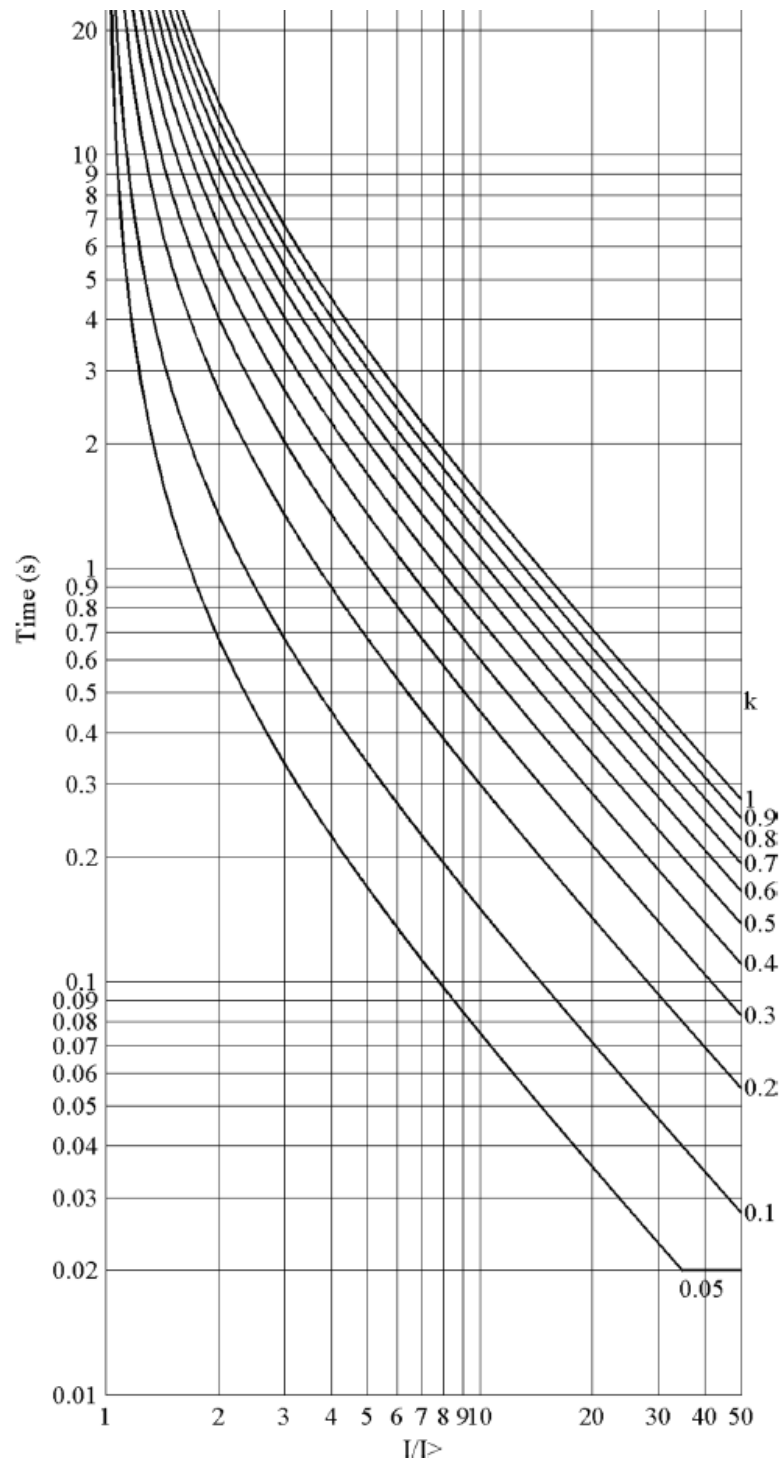
### 2.2.1 Ylivirtarele

Ylivirtarele on niin kutsuttu yksisuurerele, ja se tarkastelee ainoastaan sen läpi kulkevaa virtaa. Kun releen virta-arvo ylittää sille annetun toiminta-arvon, ylivirtarele voi joko toimia viiveettä (hetkellinen ylivirtarele), toimia tietyn ajan kuluttua aikareleen avustamana (vakioaikaylivirtarele), tai toimia viiveellä sitä nopeammin mitä enemmän releen läpi kulkevan virran arvo ylittää sen toiminta-arvon (käänteisaikaylivirtarele).

(Mörsky 1992, 35)

Releiden toiminta-aikojen asettelussa käytetään apuna standardoituja kaavoja ja käyrästöjä. Otetaan esimerkkinä käsittelyyn paljon käytetty käänteisaikaylivirtarele, ja tutkitaan miten käänteinen laukaisuaika releelle muodostetaan olettaen että suojattavan kohteen tarvittava releen havahtumisvirta on jo selvitetty.

Käänteisaikaylivirtareleen asettelussa voi käyttää hyväksi esimerkiksi IEC-standardin (kansainvälinen standardointiorganisaatio) määrittelemiä valmiita laukaisukäyriä. Kuvassa 1 on esitetty IEC-standardi 60255 mukainen käänteisaikaylivirtareleen laukaisukäyrästä.



KUVA 1. Käänteisaikaylivirtareleen laukaisukäyrästä standardin IEC 60255 mukaan (ABB 2014. 615-series technical manual, 902)

Pystyakselilla vasemmalla on käänteishidasteinen laukaisuaika, vaaka-akselilla vikavirran ja releelle asetellun havahtumisvirran suhde ja pystyakselilla oikealla parametri  $k$  eli aikakerroin. Aikakerrointa käytetään laukaisuajan määrittämiseen kuvan 1 käyrästä. Mitä suurempi on aikakerroin, sitä kauemmin kestää laukaisu. Kuvassa oleva käyrästä on laskettu IEC-standardi 60255-3 mukaisella yhtälöllä, jossa käänteishidasteinen laukaisuaika  $t_{TRIP}$  saadaan kaavan 1 avulla:

$$t_{TRIP} = \left( \frac{A}{\left( \frac{I}{I_{>}} \right)^C - 1} + B \right) \cdot k \quad (1)$$

jossa  $t_{TRIP}$  on laukaisuaika  
 $I$  on verkon vikavirta  
 $I_{>}$  on releen havahtumisvirta  
 $A$  on IEC-standardin mukainen kerroin  
 $B$  on IEC-standardin mukainen kerroin  
 $C$  on IEC-standardin mukainen kerroin  
 $k$  on parametri aikakertoimelle

Taulukosta 1 nähdään IEC-standardi 60255 mukaiset esimerkkikertoimet käänteisai-kaylivirtareleen ”VERY INVERSE”- käyräyrkkyydelle.

TAULUKKO 1. IEC- ja ANSI- 60255 mukaiset kertoimet eri käyräyrkkyyksille (ABB 2014. 615-series technical manual, 893)

Curve name	A	B	C
(1) ANSI Extremely Inverse	28.2	0.1217	2.0
(2) ANSI Very Inverse	19.61	0.491	2.0
(3) ANSI Normal Inverse	0.0086	0.0185	0.02
(4) ANSI Moderately Inverse	0.0515	0.1140	0.02
(6) Long Time Extremely Inverse	64.07	0.250	2.0
(7) Long Time Very Inverse	28.55	0.712	2.0
(8) Long Time Inverse	0.086	0.185	0.02
(9) IEC Normal Inverse	0.14	0.0	0.02
(10) IEC Very Inverse	13.5	0.0	1.0
(11) IEC Inverse	0.14	0.0	0.02
(12) IEC Extremely Inverse	80.0	0.0	2.0
(13) IEC Short Time Inverse	0.05	0.0	0.04
(14) IEC Long Time Inverse	120	0.0	1.0

Valitaan esimerkkinä kuvan 1 laukaisukäyrästä aikakertoimelle  $k$  arvo 0,2. Tällöin käyrästä mukaan releen havahtumisvirtaan nähden kaksinkertainen vikavirta antaa releen kautta katkaisijoille laukaisukäskyn  $n$ . kolmen sekunnin kuluttua, kun taas kuusinkertaisen vikavirran laukaisuaika on  $n$ . 0,5 sekuntia. Tarkistetaan asia vielä kaavan 1 mukaan, ensin kaksinkertainen vikavirta:

$$t_{TRIP} = \left( \frac{13,5}{(2)^1 - 1} + 0 \right) \cdot 0,2 = 2,7 \text{ s}$$

Ja kuusinkertaisella vikavirralla:

$$t_{TRIP} = \left( \frac{13,5}{(6)^1 - 1} + 0 \right) \cdot 0,2 = 0,5 \text{ s}$$

### 2.2.2 Ylijännite-/alijänniterele

Jännitereleet toimivat nimensä mukaisesti joko jännitteen ylittäessä tai alittaessa asetellun jännitearvon. Alijännitereleiden tärkein käyttökohde on suurien moottorien erottaminen pois verkosta, silloin kun niiden syöttöjännite laskee tai katkeaa aiheuttaen vaaran moottorin pysähtymiselle. Moottorin uudelleenkäynnistyminen jännitteen palatessa aiheuttaa verkkoon ei toivotun suuren käynnistysvirran, joka voi olla oikosulkuvirran suuruinen. Alijännitereleet eivät anna laukaisukäskyä liian pienen jännitenotkahduksen tai lyhytaikaisen jännitevaihtelun vaikutuksesta, näin ollen niihin on normaalisti liitetty aseteltava aikahidastus. (Elovaara & Laiho 1988, 393; Mörsky 1992, 38–39)

Ylijännitereleitä käytetään tahtigeneraattorien yhteydessä suojaamaan niitä vaaralliselta jännitenousulta. Moottorikäyttöjen suojauksessa ylijännitereleillä voidaan mitata vastajännitettä, joka paljastaa vaihekatkoksen tai väärän vaihejärjestyksen. Ylijännitereleet soveltuvat myös maasulkusuojaukseen, jossa niitä käytetään nollajännitereleinä. Nollajänniterele valvoo verkon nollajännitettä eli verkon tähtipisteen ja maan välistä jännitettä, joka on terveessä verkossa nolla. (Elovaara & Laiho 1988, 393; Mörsky 1992, 38–39; Partanen, 2011)

### 2.2.3 Maasulun suuntarele ja nollavirtarele

Nollavirtarele mittaa vaihevirtojen summavirtaa. Summavirta on normaalitilanteessa nolla, joten rele havaitsee maasulkutilanteen aiheuttaman vikavirran. Suunnattu maasulkurele on käytännössä myös nollavirtarele, mutta se pystyy määrittämään myös vikavirran suunnan. Suunnattu maasulkurele selvittää vikavirran suunnan nollavirran ja nollajännitteen välisen vaihekulman avulla. (Mörsky 1992, 40; Elovaara & Haarla 2011, 353–354)

Maasulun suojaaminen ei ole aivan yksiselitteistä, vaan sitä käsitellessä on otettava huomioon useita muuttujia. Maasulkua ja sen suojaamista sammutetussa sekä maasta erotetussa verkossa käsitellään tarkemmin kappaleissa 2.3.2 ja 2.4.

### 2.2.4 Distanssirele

Etäisyys- eli distanssireleet havaitsevan vikavirran suunnan ja sopivat hyvin silmukoidun verkon suojaukseen, koska silmukoidussa verkossa vikavirta voi tulla mistä suunnasta tahansa. Silmukoidussa verkossa suojauksen selektiivisyys korostuu. Distanssirele mittaa verkon vikaantuneen paikan impedanssia sekä sijoituspaikkansa impedanssia, pystyen näiden tietojen mukaan määrittämään etäisyyden vikapaikkaan. Distanssirele säättää itse toiminta-aikansa sitä nopeammaksi mitä lähempänä vikapaikkaa rele sijaitsee, jotta vika saataisiin katkaistua mahdollisimman nopeasti ja selektiivisesti. (Mörsky 1992, 57–58; Elovaara & Haarla 2011, 348–349)

### 2.2.5 Differentiaalirele

Vertoreleisiin kuuluva differentiaalirele (erovirtarele) mittaa suojattavaan kohteeseen tulevien virtojen, ja siitä lähtevien virtojen eroa. Jos tulevien ja lähtevien virtojen erotus ylittää releelle annetun rajan, antaa rele laukaisukäskyn. Terveessä virtapiirissä virtojen summa on nolla. Differentiaalirele suojaa verkosta vain sen alueen, jonka mittamuuntajien välistä virtaa se vertailee. Näin ollen suojattava kohde on yleensä suppea, kuten sähköasema tai voimalaitos. (Mörsky 1992, 46; Elovaara & Haarla 2011, 354–355)

### 2.2.6 Taajuusrele

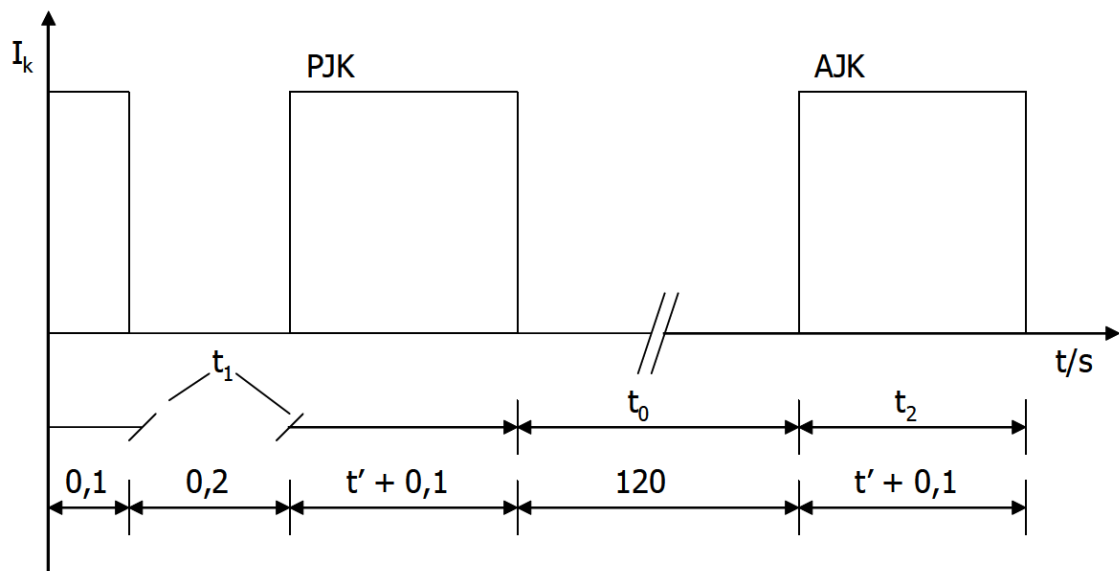
Taajuusrele mittaa nimensä mukaisesti verkon vaihtojännitteen taajuutta, ja kytkee suojattavan verkon osan irti taajuuden noustessa, tai sen laskiessa asetteluarvojen ulkopuolelle. Taajuusreleitä voidaan käyttää esimerkiksi vioittuneiden tahtigeneraattoreiden irtikytkentään verkosta, tai tehonvajaussuojaukseen, jolloin suojattavaa kuormaa kytetään irti haitallisen alitaajuuden vuoksi. (Mörsky 1992, 40; Elovaara & Haarla 2011, 357)

### 2.2.7 Epäsymmetriarele

Kolmivaihejärjestelmässä epäsymmetrinen kuorma, eli vinokuorma, aiheuttaa erilaisissa järjestelmissä sekä koneissa virta- ja jännitehäviöitä. Epäsymmetriarele valvoo kolmivaihejärjestelmän symmetrisyyttä havaiten kuormitusvirrasta tai -jännitteestä vinokuorman aiheuttaman haitallisen vastakomponentin. Tätä vastakomponenttia vertaamalla virran tai jännitteen myötäkomponenttiin, rele määrittää epäsymmetriatilanteen ja suorittaa katkaisun asetteluarvojen puitteissa. Vinokuormaa esiintyy eniten yksi- tai kaksivaiheisessa oikosulussa, tai silloin jos yksi tai kaksi syöttävää vaihetta katkeavat. (Mörsky 1992, 41–42)

### 2.2.8 Jälleenkytkentärele

Jälleenkytkentäreleiden tehtävä on suorittaa katkaisijan automaattinen kiinnikytkentä tietyn valitun ajan kuluttua releen antamasta katkaisukäskystä. Jälleenkytkentäreleenä voivat olla erillinen rele, mutta useimmiten se on integroituna varsinaisen laukaisun tekevään suojareleeseen. Jälleenkytkentäreleet testaavat verkon vian mahdollista poistumista suorittaen ensin pikajälleenkytkennän (PJK) nopeasti vikahetken jälkeen, ja tilanteen vaatiessa aikajälleenkytkennän (AJK) pidemmän jännitteettömän ajan jälkeen (esimerkki kuvaajassa 1). (Elovaara & Haarla 2011, 356)



$t'$  = releeseen aseteltava laukaisun aikahidastus

PJK = pikajälleenkytkentä

AJK = aikajälleenkytkentä

KUVAAJA 1. Esimerkki PJK:n ja AJK:n toiminnasta (Lappeenranta University of Technology)

Kuvaajassa 1 pystyakselilla esitetään vikavirta  $I_k$  ja vaaka-akselilla aika  $t$ . Pikajälleenkytkentä voidaan tehdä alle sekunnissa katkaisijoiden ensimmäisestä toiminnasta. Jälleenkytkentärele voi suorittaa useamman kuin yhden aikajälleenkytkennän, näissä aikahidastus voi olla minuuotteja. Normaalisti aikajälleenkytkentöjä tehdään vian jatkuessa kahdesta kolmeen kappaletta, ennen kuin rele antaa lopullisen laukaisukäskyn.

### 2.3 Verkon viat

Sähkön laatu sekä asiakkaan sähkönsaannin varmistaminen luotettavasti ja turvallisesti ovat tärkeimpiä kriteereitä suunniteltaessa sähköntuotantoa ja sähkönsiirtoverkkoja. Sähköä tuottavien laitteiden ja sähköverkon vikojen minimoimiseksi on tunnistettava ja analysoitava mahdolliset vikatilanteet, jotta suojalaitteet saataisiin toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla. Yleisimpiä vikatilanteita aiheuttavat ilmastolliset ylijännitteet ja laitteiden toimintahäiriöt tai niiden ylikuormitus. (Elovaara & Laiho 1988, 73)

### **2.3.1 Oikosulku**

Oikosulut ovat sähkönsiirtolaitteistojen yleisimpiä vikoja. Yleisimpiä oikosulkutilanteita aiheutuu salamaniskusta avojohdolle, tai puun kaatumisesta johdinten päälle. Oikosulkuja esiintyy 2-, tai 3-vaiheisinä. 3-vaiheiset oikosulut ovat yleensä myös maasulkuja, mutta puhdas 2-vaiheinen oikosulku voi aiheutua esimerkiksi avojohtoverkon kahden vaihejohtimen koskettaessa toisiaan kovan tuulen takia. (Elovaara & Haarla 2011, 339–340)

### **2.3.2 Maasulku**

Maasulku tarkoittaa tilannetta, jossa virtapiirin johdin joutuu vikatilanteessa kosketuksiin maan kanssa muun kuin kuormituksen kautta, joko suoraan tai välillisesti. Siirtoverkossa yleisin vika johtuu salamaniskun aiheuttamasta 1-vaiheisesta maasulusta. Siirtoverkon johdoilla käytetään ukkosenjohdattimia, joten salamanisku suuntautuu useimmin ukkosenjohdattimeen, kuin suoraan avojohdolle. Jos ukkosenjohdattimen ja johtimen välinen eristystaso ei kuitenkaan riitä, syntyy valokaaren aiheuttama oikosulku, joka muuttuu maasuluksi ukkosenjohdattimen ollessa yhteydessä maahan. (Elovaara & Haarla 2011, 339–340)

Maasulkuja voi esiintyä myös 2 tai 3-vaiheisinä, tai niin sanottuina kaksoismaasulkuina, joissa kaksi eri vaihejohdinta on yhteydessä maahan, mutta eivät toisiinsa. Tällaisia vikoja aiheutuu usein puiden kaatumisesta avojohtolinjojen päälle. (Elovaara & Haarla 2011, 339–340)

### **2.3.3 Johdinkatkos**

Yhden vaihejohtimen katketessa verkon kuormitusvirta muuttuu epäsymmetriseksi, ja näin ollen vahingolliseksi kuormituslaitteille. Jos johdinkatkos tapahtuu ilman maasulkuja, verkon oikosulku-, tai maasulkusuojaus ei havaitse vikaa. Johdinkatkoksen aiheuttamalle vialle onkin siis rakennettava oma suojauksensa, tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi kolmivaiheisella alijännitereleellä. (Elovaara & Haarla 2011, 341)



### 2.3.4 Ylikuormitus

Keskijänniteverkon ylikuormituksesta johtuvat viat ovat harvinaisempia, koska sähkönsiirtojärjestelmän muilla laitteilla, kuten muuntajilla, generaattoreilla sekä kompensointilaitteilla on omat laukaisevat ylikuormitussuojansa. Jos verkolla kuitenkin esiintyy ylikuormaa, antaa automaattinen verkonvalvontajärjestelmä hälytyksen valvomoon, josta verkon valvoja voi tehdä tarvittavat toimenpiteet. (Elovaara & Haarla 2011, 342)

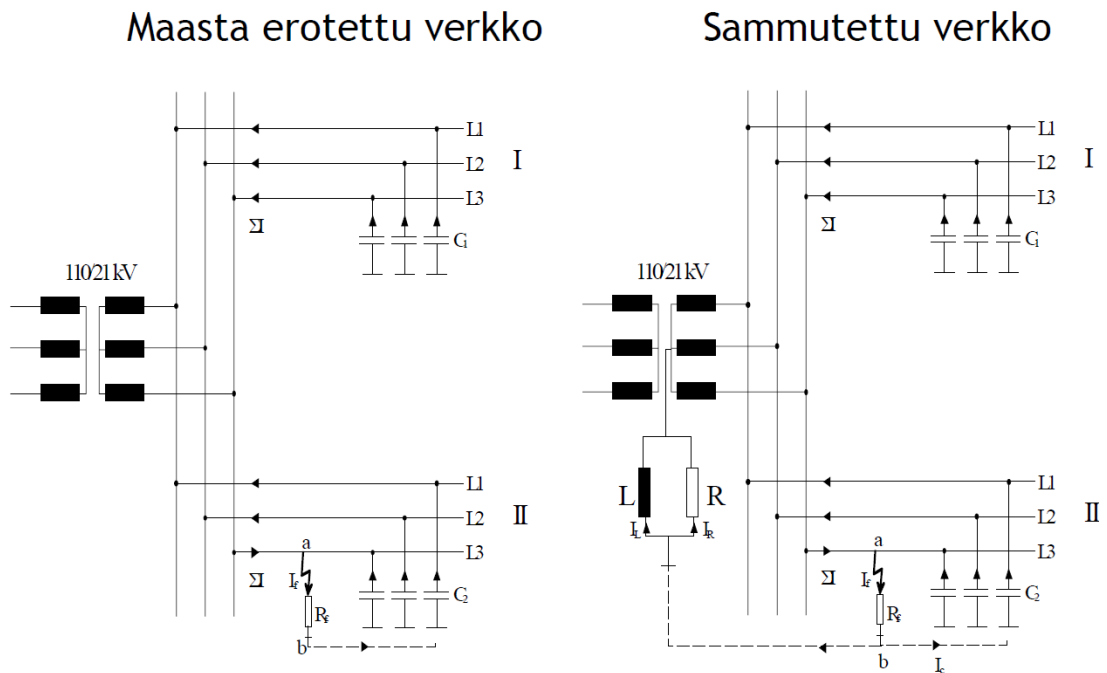
## 2.4 Keskijänniteverkon maadoitustavat

Suomessa keskijänniteverkon maadoitustapoja on kaksi. Maasta erotetussa verkossa muuntajien tähtipisteet ovat eristetty maasta, joten verkossa muuntajan nollaimpedanssin, eli tähtipisteen ja maan välinen impedanssi, muodostuu käytännössä ainoastaan vaihejohtinten maakapasitansseista. Johtimien ja muuntajien käämien impedanssit ovat häviävän pieniä vaihejohtimien maakapasitansseihin verrattuna, joten niitä ei oteta käytännön laskuissa lainkaan huomioon. Sammutetussa verkossa on muuntajan tähtipisteeseen ja maan välille on kytketty sammutuskuristin, jonka induktanssin avulla pyritään kompensoimaan vaihejohtinten maakapasitanssit. (Elovaara & Laiho 1988, 83–84; Lakervi & Partanen 2009, 182–185; Partanen, 2011)

Koska maasta erotetussa verkossa maasulun vikavirta kulkee vaihejohtimien maakapasitanssien impedanssien kautta (muutamia satoja tai tuhansia ohmeja), ei vikavirta voi nousta kovin suureksi (1-200 ampeeria). Tämä riippuu myös siitä onko maasulku täydellinen, vai kulkeeko vikavirta vikaresistanssin kautta. Maasulun aikana kaikki verkon jännitteet tähtipistejännite mukaan lukien muuttuvat. Viallisen vaiheen jännite pienenee, ja muiden vaiheiden jännitteet nousevat. Jos vikaresistanssi on nolla, terveiden vaiheiden jännitteet nousevat lähes verkon pääjännitteen tasolle, ja muuntajan nollajännite verkon vaihejännitteen suuruiseksi. (Lakervi & Partanen 2009, 182–185; Partanen, 2011)

Kuvassa 2 maassa erotetussa verkossa on 1-vaiheinen maasulku, vikavirta ( $I_f$ ) kulkee maahan vikaresistanssin  $R_f$  kautta, ja jatkaa maakapasitanssien kautta muuntajan käämiin, ja sieltä taas viallisen vaiheen impedanssien kautta vikapaikkaan. Kuvassa 2 nähdään myös sammutetun verkon 1-vaiheinen maasulkutilanne. Sammutetun verkon

muuntajan tähtipisteeseen on liitetty kuristin, joka näkyy vikavirran kannalta induktiivisena ja resistiivisenä kuormana. Sammutuskuristin pyritään virittämään siten, että maakapasitanssien läpi kulkevan vikavirran ( $I_C$ ) suuruus on sama kuin kuristimen kautta kulkeva virta ( $I_L$ ). Koska  $I_C$  ja  $I_L$  ovat vastakkaissuuntaisia jää vikavirta  $I_f$  pieneksi, ja pienivirtaiset valokaaret sammuvat helpommin itsestään, eikä pikajälleenkytkentää aina tarvita. (Lakervi & Partanen 2009, 182–185; Partanen, 2011)



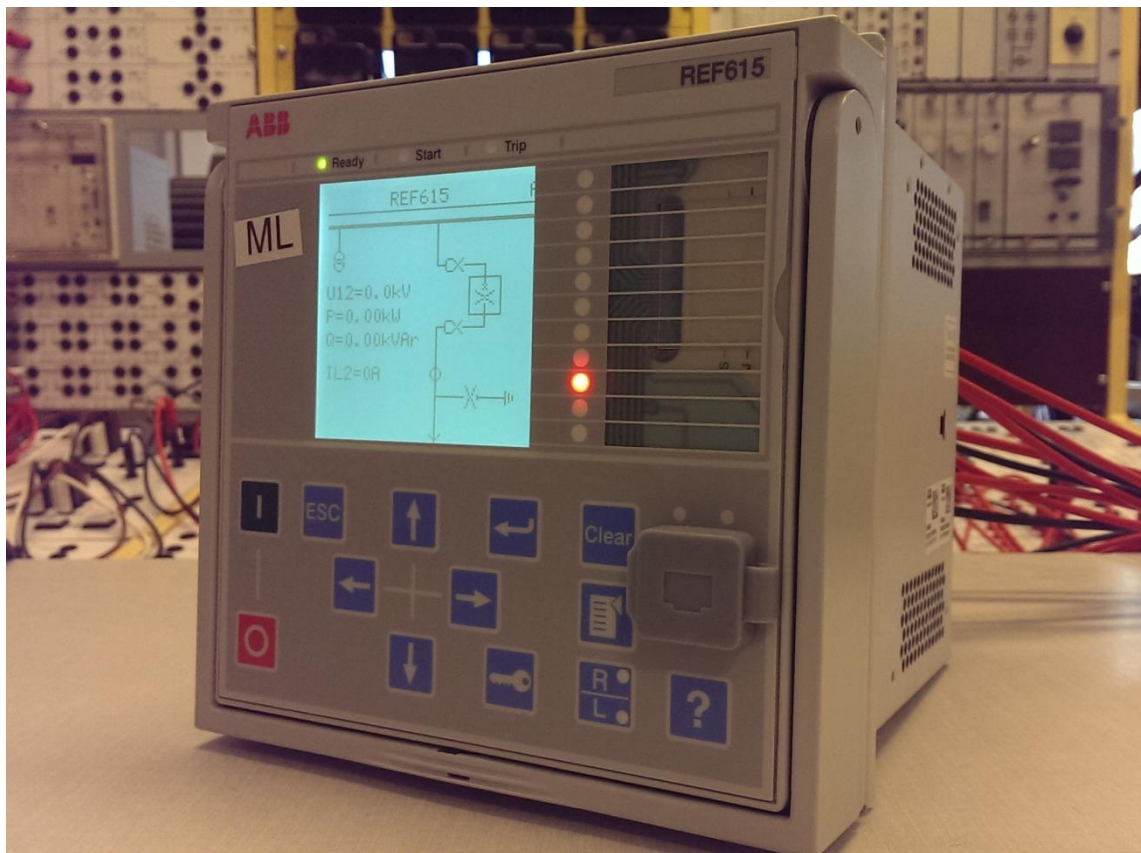
KUVA 2. Maasta erotetun ja sammutetun verkon ero yksivaiheisessa maasulussa (Partanen, 2011)

### 3 SÄHKÖLABORATORION LAITTEISTO

#### 3.1 Johdonsuojarele REF615

Tampereen ammattikorkeakoulun ABB:lta käyttöönsä saamat releet olivat Relion-tuotesarjaan kuuluvia REF615-releitä. REF615 on suunniteltu keskijänniteverkon sähköjärjestelmien suojaukseen, mittaukseen ja valvontaan. Relettä voidaan käyttää jake-lusähköverkossa siirtoverkon suojaukseen sekä sähköaseman nopeana kiskostosuojana. Suojarele tukee uutta IEC 61850 sähköasemakommunikaatiostandardia, joka on kehitetty mahdollistamaan ja helpottamaan sähköasemien eri laitevalmistajien välistä tietoliikennettä ja laitteidenvälistä kommunikaatiota. Standardia IEC 61850 pidetään lähtökoh-tana tulevaisuuden älykkäiden sähköverkkojen toteutukselle. (ABB 2008)

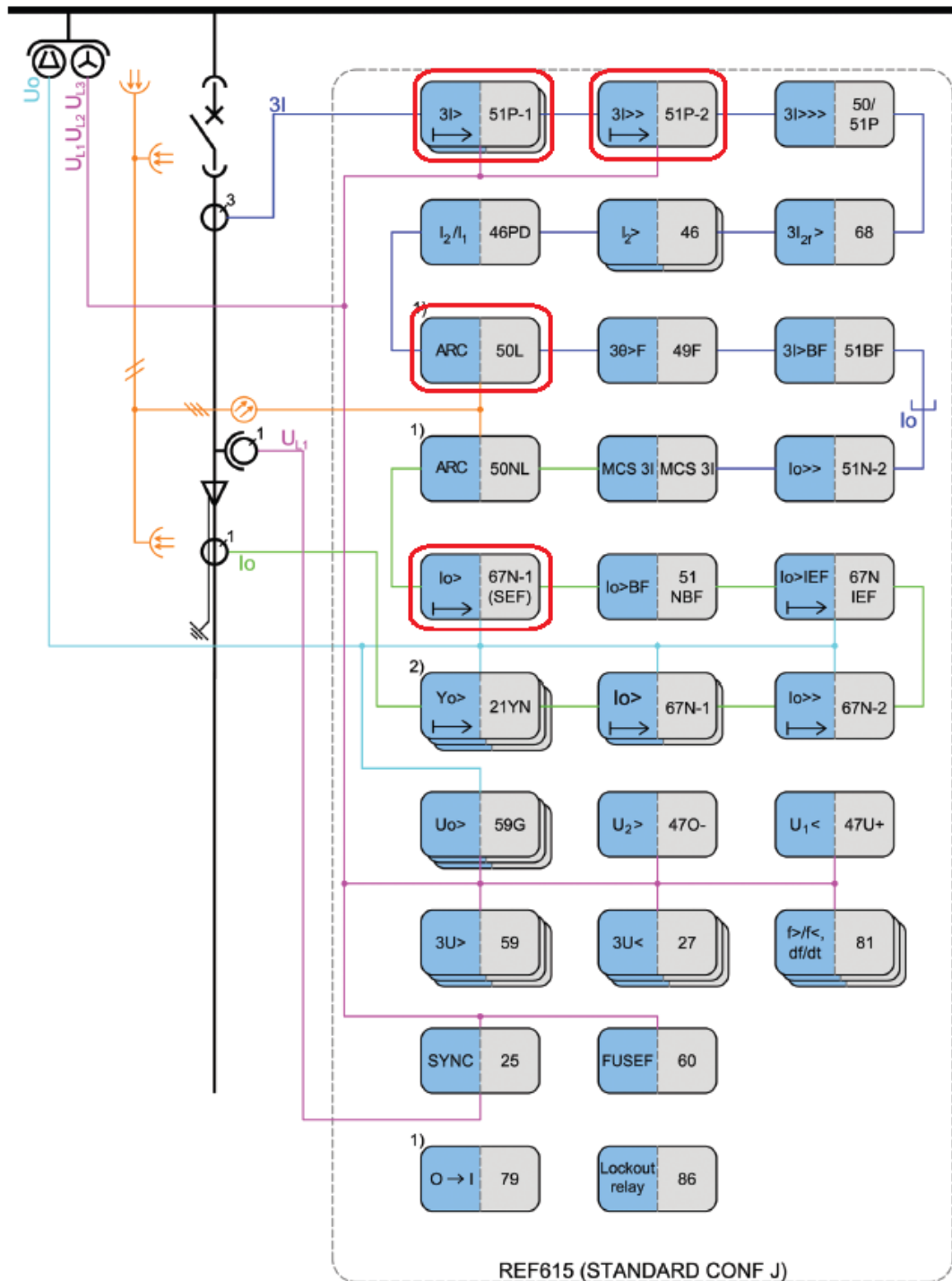
Kuvassa 3 on johdonsuojarele REF615 käyttöpaneelieineen ja fyysisine painikkeineen.



KUVA 3. Johdonsuojarele REF615

Modernina prosessoripohjaisena suojarelleenä REF615 pystyy tarkkailemaan verkon tilaa kattavasti, ja se sisältää useita erilaisia suojausvaihtoehtoja sekä itsevalvontamaisuuksia. Suojareleessä on myös sisäänrakennettuna monipuolinen jälleenkytkentäautomaatiikka. REF615-johdonsuojarele on suunniteltu pääasiassa johdonsuojareleeksi sammutettuihin ja maasta erotettuihin verkkoihin. Vakiokokoonpanona ammattikorkeakoulun releeseen oli asetettu kokoonpano J. Tässä kokoonpanossa releen tärkeimmät suojaominaisuudet ovat suunnattu ylivirtasuojaus, suunnattu maasulkusuojaus, ali- ja ylijännitesuojaus sekä taajuudenvälvonta sammutetuissa ja maasta erotetuissa verkoissa. (ABB 2012. REF615, Application Manual, 168)

Vakiokokoonpanossa J on myös mahdollista valita maasulkusuojaus admittanssin tai harmonisten yliaaltojen mittaamiseen perustuvaan suojaustapaan. Kuvassa 4 on esitetty kyseisen releen suoja- ja katkaisuominaisuudet, sekä eri suojaustoimintojen vaatimat mittaustiedot. Tässä työssä käytetään releen tarjoamista suojausominaisuuksista suunnattua kolmivaiheista ylivirtasuojauksen normaaliporrasta (3I>) ja pikalaukaisuporrasta (3I>>), sekä maasulkusuojauksen normaaliporrasta (I0>). Lisäksi käyttöön otetaan jälleenkytketätoiminto (ARC). Kuvan 4 kaaviossa edellä mainitut suojaukset on ympyröity punaisella.

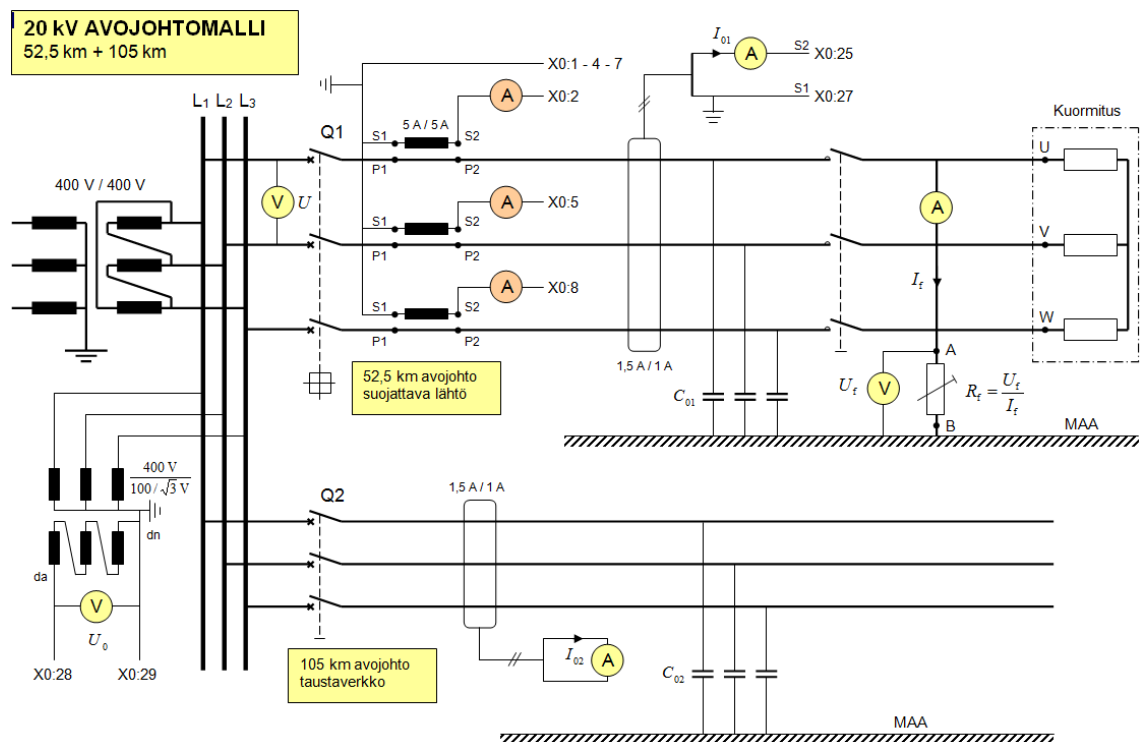


KUVA 4. Kaavio REF615-suojareleen suojaus- ja katkaisuominaisuuksista (ABB 2012. REF615 Product Guide, 15)

Releen tekniset tiedot sekä kuvan 4 IEC- (kansainvälinen standardointiorganisaatio, sinisellä pohjalla) ja ANSI- (Yhdysvaltalainen standardiorganisaatio, harmaalla pohjalla) standardien mukaisten koodien selitykset löytyvät liitteestä 1.

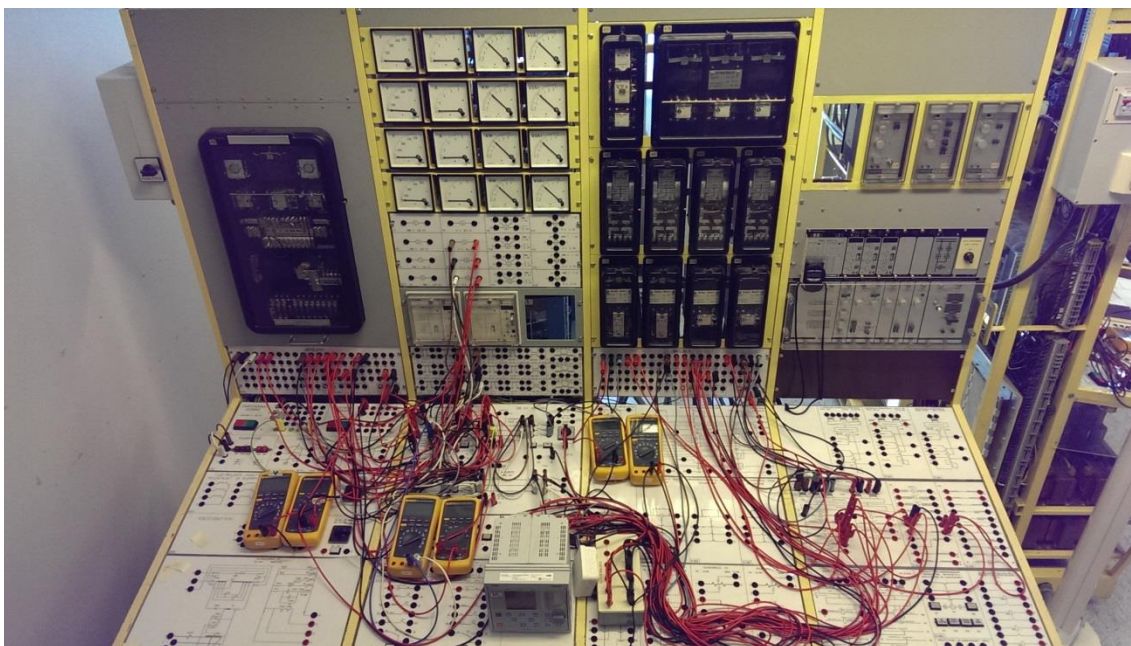
### 3.2 Laboratorion sähköverkkomalli

Ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa keskijänniteverkkoa simuloidaan erikseen opetuskäyttöön rakennetun sähköverkkomallin avulla. Sähköverkkomalli sisältää keskijännitesiirtoverkkoa mallintavan laitteiston johon on mallinnettu 105 kilometrin pituinen avojohtotautavverkko, sekä 52,5 kilometrin pituinen avojohtoinen suojattava verkko. Verkkomallin pääkaavio, siihen liitetyt mittarit (A= virtamittaus, V= jännitemittaus) ja mittamuuntajat on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. TAMK:n keskijänniteverkkomallin pääkaavio (Mäkinen. TAMK)

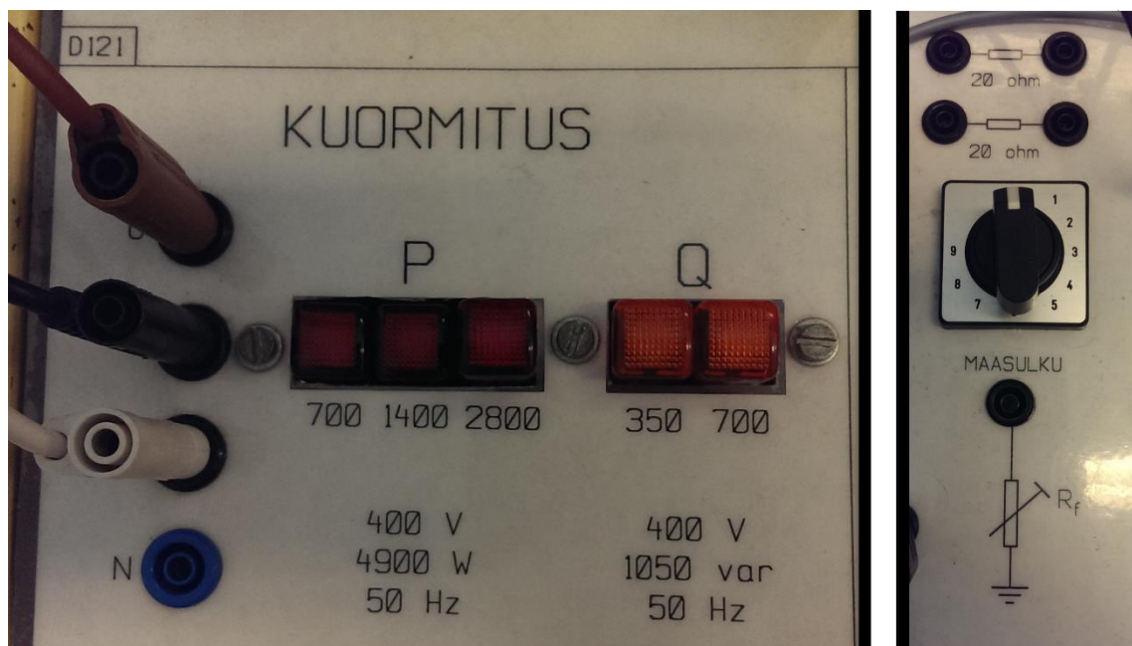
Kuvan 5 mukaisesti verkkomallissa tutkittavia virtoja mitataan suoraan pöytään liitettyjen analogisten mittareiden avulla. Muita tutkittavia suureita, kuten esimerkiksi maasulkuvirtaa, voidaan mitata pöytään ulkoisesti kytketyillä yleismittareilla. Verkkomalliin on kiinteästi rakennettuna myös vanhempaa relelaitteistoa, esimerkiksi Stömbergin SPAC 520 C- johtolähtöpaketti, ja Brown Boverin ylivirtavakioaikareleitä ja suuntareleitä. Näistä juuri SPAC 520 C- rele tullaan korvaamaan REF615-releellä. Kuvassa 6 nähdään sähköverkkomalli kokonaisuudessaan. Kuvassa REF615 on kytkettynä pöytään laitteiston testaustilanteessa. Myös tarvittavat ”sisäiset” kytkennät on tehty liitosjohtojen avulla.



Kuva 6. Laboratorion sähköverkkomalli

Oppilastyössä jonka toteuttamiseen suojarele REF615 on tarkoitus liittää, keskitytään lähinnä kuvassa 5 ylempänä näkyvään 52,5 kilometrin avojohtoverkkoon. 105 kilometrin pituinen taustaverkko on oppilastyössä vain maasulkutilanteessa vikavirtaa syöttävässä osassa. Suojattavassa verkkomallissa on kahdet kolmivaihekatkaisijat, toiset liittävät verkon muuntajaan, ja toiset kuorman verkkoon. Verkkomallipöydässä katkaisijoita ohjataan painonapeilla. Avojohtoverkon kuormitusta mallinnettiin portaittain lisättävillä 700 W, 1400 W ja 2800 W tehoisilla kuormilla, sekä näitä yhdistelemällä. Maasulku verkkomallissa tehtiin muuttamalla kuvassa 5 pisteiden A ja B välisen säätövastuksen arvoa pöydässä olevalla kytkimellä. Kytkimen nolla-asennossa vastus oli ääretön, eli vikaa ei ollut, Vastaavasti kytkimen ollessa asennossa 10, oli tilanteena resistanssiton puhdas maasulku. Kytkimen asennoilla 1-9 saatiin resistanssiarvoja väliltä  $23000\ \Omega$  –  $340\ \Omega$ . Kuvassa 7 nähdään läheltä kuorman määräävät painikkeet sekä maasulkuresistanssia säätelevä kytkin verkkomallipöydässä. Kuvasta nähdään että verkkomallilla voi myös käsitellä loistehoa, mutta tämän työn käsittelemässä releen käyttötilanteessa kuormituksena oli vain pätötehoa.





KUVA 7. Kuorman ja maasulun säätökytkimet

### 3.3 Sähkölaboratorion suojarileisiin liittyvät oppilastyöt

Tällä hetkellä ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa opiskellaan sähkövoimatekniikan suuntautumisessa relesuojaustekniikkaa kahden oppilastyön kautta. Relesuojaustekniikka 1- oppilastyössä tavoitteena on tutkia laboratorion SPAC 520- johtolähtöpaketin sisältämien ylivirta- ja maasulkurelemoduulien (SPCJ 3C3 ja SPCS 3C4), sekä jälleenkytkentämoduulin ominaisuuksia ja käyttösovellutuksia (Tarkiainen, 2011). Työssä relemoduulit kytketään keskijänniteverkkomalliin, jossa simuloidaan ja tutkitaan maasulkua ja sen vaikutusta releen toimintaan antamalla verkkomalliin rakennetulle vikaresistanssille eri arvoja. Lisäksi virtarele- ja jälleenkytkentäreleyksikkö on parametroitava työohjeen mukaisilla arvoilla ja laitteisto on saatava toimimaan vaaditun toimintakaavion mukaisesti. Releyksiköiden vaaditut asetukset sekä jälleenkytkennän haluttu toimintasekvenssi esitetään liitteessä 4.

Relesuojaustekniikka 2- oppilastyössä päähuomio kiinnittyy vakavoituun differentiaali-releeseen SPAD 346 C, joka on tarkoitettu kaksikäsimuuntajien ja generaattorimuuntajien monipuoliseen suojaukseen sekä generaattorien käämisulku- ja oikosulkusuojaukseen. (ABB 1997, Vakavoitu differentiaalirele SPAD 346 C, 3)



REF615-rele ei sisällä differentiaalisuojaustoimintoa, joten tätä oppilastyötä ei voida kyseisellä releellä toteuttaa. Relesuojaustekniikka 2- oppilastyö tullaan siis toistaiseksi vielä toteuttamaan nykyisellä SPAD 346 C- differentiaalirelelaitteistolla.

Tehtäväksi jäi siis Relesuojaustekniikka 1- oppilastyön nykyisten relelaitteistojen korvaaminen REF615-releellä, ja mahdollisesti myös laajentaa nykyisen oppilastyön työohjetta käänteisaikaylivirtareleen toimintaan liittyvällä tehtävällä.

## 4 REF615-RELEEN KÄYTTÖÖNOTTO

### 4.1 Ensikäynnistys ja käyttöliittymät

Suojarelettä ei ollut vielä TAMK:n laboratoriossa kertaakaan käynnistetty, joten ensimmäisenä oli varmistettava että laite oli toimintakuntoinen. Suojarele oli leimattu tehtaalla tyyppitunnuksella, josta sai selville tarkasti sen, millä kokoonpanolla ja ohjelmistolla rele oli tehtaalla konfiguroitu. Leimaa (kuva 8) oli verrattava ABB:n REF615:n tuoteoppaaseen, josta sai selville koodikirjainten merkityksen. Leiman mukaan releen kokoonpano oli ”J”. Tämän tiedon avulla voitiin hakea oikeat kytkentäkuvat ja manuaalit ABB:n verkkosivuilta.

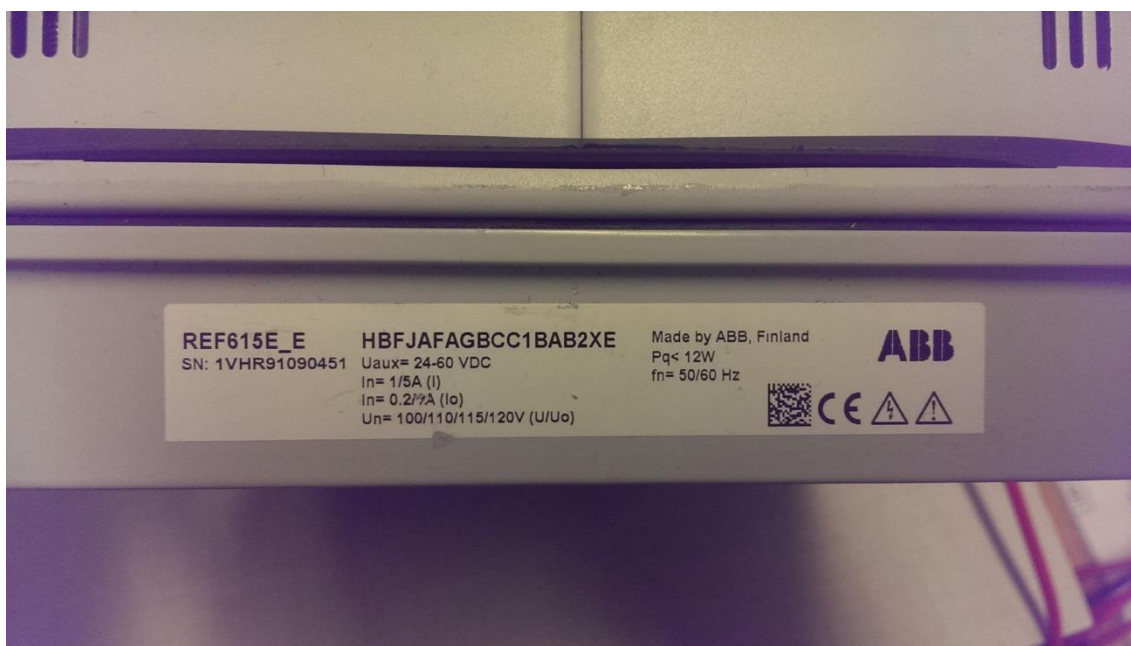
Laite saatiin käyntiin syöttämällä tasajännitettä releen takana oleviin apujännitesyötön liittimiin. Käytössä oli muuntaja joka muunsi verkkojännitteen 24 V tasajännitteeksi releen apujännitesyöttövaihtoehdon 2 mukaisesti. Muuntaja oli kytketty releen moduulin X100 riviliittimiin 1 ja 2. (liite 2) Laitteen ensikäynnistys kesti useita minuutteja, jonka jälkeen releen oma näyttö syttyi merkiksi siitä, että laitteisto oli käyttövalmis. Valikkojen selaaminen pienen käyttöpaneelin (HMI ”Human-machine interface”) kautta oli melko hidasta valikkojen suuren määrän vuoksi. Jotta releen käyttö saataisiin sujuvammaksi, vaihdettiin selainpohjaiseen käyttöliittymään (WebHMI), jonka käyttöä opastettiin ABB:n 615-sarjan releiden käyttöohjeessa. Tietokone liitettiin suojareleeseen tavallisella RJ-45 datakaapelilla, ja yhteys laitteiden välille muodostettiin verkkoselaimeen syötetyn käyttöohjeessa määritetyn IP-osoitteen avulla. Releen fyysisestä käyttöliittymästä oli ensin asetettava käytönhaltijan oikeudet tietokonekäyttöön. Valikoissa liikkuminen, suojaominaisuuksien parametointi sekä mitattavien arvojen monitorointi on paljon luontevampaa selainpohjaisen käyttöliittymän kautta. Releen mittamat arvot saadaan näkyviin myös osoitinmuodossa, kuten kuvasta 9 nähdään.

Ammattilaiskäytössä Relion-perheen releitä ohjataan ja parametroidaan useimmiten ABB:n omalla PCM 600- ohjelmalla, jonka avulla voi projektipohjaisesti ohjelmoida ja monitoroida sähköaseman tai verkon suojalaitteiden tilaa. PCM600-ohjelman avulla voi kommunikoida usean eri standardiin kuuluvien laitteiden kanssa, ja se onkin monipuolinen työkalu laajempien verkon suojausalueiden hallintaan. Ohjelman käyttö vaatii kuitenkin aikaa ja harjoittelua, eivätkä sähkölaboratoriossa tehdyt releyöt vaadi näin mo-

nikäyttöistä työkalua. Opetuskäytössä relettä on helpompi hallita selainpohjaisen käyttöliittymän avulla, ja releen käyttöä päätettiin jatkaa sen kautta.

## 4.2 Kytkeä keskijänniteverkkomalliin

Kun rele oli todettu päällisin puolin toimivaksi, oli seuraavana vuorossa sen kytkeminen sähköverkkomalliin suoja-releen manuaaleista löytyvien kytkentäkuvien avulla. Kytkentä tehtiin liitteessä 2 esitetyn kaavion mukaisesti käyttäen monisäikeisiä kuparijohtimia. Aluksi kytkettiin vain mittauksiin tarvittavat analogiset tiedot. Releessä olevaan X120-riviliitinmoduuliin tuotiin verkkomallista vaihevirrat sekä nollavirta. X130-moduuliin kytkettiin puolestaan verkkomallista saatava nollajännite. Ennen verkkomallin tuomista jännitteiseksi, oli tarkistettava releyksikköön leimatut virta-arvot kuvan 8 tuoteleimasta.



KUVA 8. REF615-releen tuoteleima

Suoja-rele liitettiin mittaamaan avojohtoverkkomallin vaihevirtoja, nollavirtaa, sekä nolla- ja vaihejännitteitä, mittauspisteet valittiin verkkomallin pääkaavion mukaan. Koska laboratorion sähköverkkomalli toimii 400 voltin jännitetasossa, oli releen parametrien muokkaaminen aloitettava skaalaamalla suoja-releelle oikeat virta- ja jännitearvot. Jännitemuuntajan ensiöpuolen jännitteeksi asetettiin 400 V, ja toisiopuolen jännitteeksi 100 V. Vastaavasti virtamuuntajalla sekä ensiö-, että toisiovirraksi määritettiin 1 A.



katkaisijoita, vaan releen katkaisimille lähettämiä signaaleja valvottiin ohjelmallisesti. Suojarele ei tässä vaiheessa myöskään saanut tietoa katkaisijoiden auki tai kiinniasenoista.

Kolmivaiheinen ylivirtasuojaus sisältää neljä toimintaporrasta. (liite 1). Ensimmäiset 2 toimintaporrasta ( $3I>->(1)$  ja  $3I>->(2)$ ), low-stage, normaaliporras), ovat tarkoitettu toimimaan pienellä ylivirralla, ja niiden toiminta-aika on yleensä useita sekunteja. Kolmas porras ( $3I>>->$ , high-stage, pikalaukaisuporras) on toiminta-ajaltaan nopeampi, ja antaa laukaisukäskyn nopeammin suurella vikavirralla. Neljäs porras ( $3I>>>$ , instantaneous stage,) on tarkoitettu oikosululta suojaamiseen ja laukaisun tulee tapahtua välittömästi. Merkki ” $->$ ” suojaustoiminnan perässä on ikään kuin nuoli, tarkoittaa suunnattua ylivirtasuojauksia.

Ylivirtasuojaus aseteltiin toimimaan kahdella portaalla, normaaliportaalla ja pikalaukaisuportaalla. Verkkomallin kuormituksella 2100 W ylivirta nousi noin 0,6 A:n, joten normaaliportaan havahtumisarvoksi päätettiin asettaa 0,55 % nimellisvirrasta. Ylivirta-arvo oli siis 0,55 A releen nimellisarvon ollessa 1 A. Toiminta-ajaksi normaaliportalle aseteltiin 12 sekuntia. Kun verkkomalliin kytkettiin kuormaa 3500 W, vikavirta oli n. 0,9 A. Pikalaukaisuportaan havahtumisarvoksi aseteltiin 0,8 A, ja toiminta-ajaksi 0,5 sekuntia.

Ylivirtasuojaus saatiin toimimaan releellä moitteetta. Koska laukaisukäskyä ei vielä ollut viety verkkomallin katkaisijalle asti, laukaisun tapahtuminen voitiin todeta releen edessä olevien ledien avulla. Suojareleen START- ledi syttyi kun havahtumisarvo ylitettiin, ja vastaavasti TRIP- ledi kun laukaisukäsky lähetettiin. Ledin näytön oikealla puolella ohjelmoitavien ledien ylivirtasuojauksen toimintaa vastaava ledi syttyi myös palaamaan. Esimerkiksi hitaan portaan lauetaessa näytölle tuli tieto ” $3I>; OPERATE L1,L2,L3$ ”.

#### 4.3.2 Maasulkusuojauksen toteutus

Maasulkusuojaus toteutettiin samaan tyyliin, kuin oikosulkusuojaus. Releen suojausvaihtoehtoista käytettiin nollavirran mittaukseen perustuvaa suunnattua maasulkusuojauksia, joka on myös käytettävissä kolmiportaisesti. Nollavirran suunta riippuu

siitä, kummalla puolella mittamuuntajia maasulku tapahtuu. Tässä tapauksessa kuvan 5 mukaan maasulku on kuormituksen puolella, jonka releen suuntaominaisuus havaitsee.

Suunnattu maasulkusuojaus asetettiin toimimaan vain yhdelle portaalle, käyttäen normaaliportaan laukaisua ( $I_o > ->$ ). Suojauksen toiminta-arvoksi määritettiin sellainen vikavirta, jonka  $2200\ \Omega$  vikaresistanssilla tapahtuva maasulku aiheuttaa. Virta-arvona tämä tarkoitti verkkomallissa 0,025-kertaista virtaa nimellisvirtaan (1 A) nähden. Toiminta-arvoksi saatiin siis 0,025 A ja tämä vastasi vikaresistanssia säättävän kytkimen asentoa 6. Toiminta-ajaksi asetettiin 5 sekuntia. Laukaisun tapahtuessa releen maasulkuun vastaava hälytysledi syttyi, ja näyttö sai ilmoituksen ” $I_o > ->$ ; OPERATE”.

### 4.3.3 Jälleenkytkennän johdotus

Jälleenkytkentäsykliä lähdettiin rakentamaan vanhan työohjeen määrittelemän sekvenssin mukaiseksi (liite 4). Tässä vaiheessa releen riviliittimiltä oli tuotava pulssi verkkomallin katkaisijoita ohjaaville keloille. Katkaisijoiden ohjaaminen vaatii apujännitteen, joka saatiin verkkomallipöydässä valmiina olevasta tasavirtaverkosta. Releen katkaisijoille antaman pulssin toiminta perustuu siihen, että releen kautta kierrätetään 100 V tasajännite, jota rele pulssimaisesti kytkee päälle ja pois.

Jotta jälleenkytkentä toimisi kunnolla, releen täytyy saada tilatieto katkaisijoilta. Ensin releen riviliittimille X120-3,4,5 tuotiin releen ohjaamien katkaisijoiden auki ja kiinni-olotiedot. Lisäksi releen riviliittimille X110-6 ja 7 tuotiin kaiken varalta jousiviritteisin katkaisijan valmiustieto, vaikka rele ei toimiakseen sitä välttämättä tarvitse. Tämä indikointitieto kytkettiin näyttämään valmiutta aina, kun releen katkaisija on aukioasennossa.

Varsinainen katkaisijoiden ohjaaminen suoritettiin liitteen 3 kaavion mukaan, käyttämällä moduulia X100. Binäärilähtö PO1 (riviliittimet 6 ja 7) antaa katkaisijoille sulkeutumiskäskyn, ja lähtö PO3 (riviliittimet 16 ja 17) aukaisukäskyn. Lähdön PO3 tarjoamaa itsevalvontapiiriä ei käytetty, vaan kytkentä tehtiin suoraan sulkeutuvien kärkeiden välille.

#### 4.3.4 Ongelmat jälleenkytkentäsyklin toiminnassa

Kun tarvittavat kytkennät oli tehty, ajettiin releeseen sisälle parametrit eri jälleenkytkentäajoille työohjeen (liite 4) mukaisesti. Hieman hämmennystä aiheutti työohjeessa esiintyvä katkaisijan kiinnioloaikojen ero jälleenkytkentäsekvenssissä. Esimerkiksi PJK:n ja AJK1:n välinen katkaisijan haluttu kiinnioloaika on 2 sekuntia, kun taas AJK2:n ja lopullisen laukaisun välinen aika 8 sekuntia. Kolmivaiheista suunnattua ylivirtasuojausta käytettäessä katkaisijan kiinnioloaika riippuu ylivirtasuojauksen parametreihin asetetusta toiminta-ajasta. Tämä aika on käytetyssä ”definite time”- moodissa aina vakio, tässä tapauksessa alemman portaan 12 sekuntia. Joka tapauksessa jälleenkytkentää päätettiin kokeilla verkkomalliin, mutta huonoin tuloksin. Rele aukaisi katkaisijan aina asetusten mukaisesti, esimerkiksi 5 sekunnin päästä siitä, kun maasulkuvirta ylitti rajan 0,025 sekuntia, mutta ei tehnyt ainuttakaan jälleenkytkentää.

Ongelmaa ei saatu ratkaistua joten päätettiin ottaa yhteyttä laitevalmistajaan. ABB:n puolesta asiaan otti kantaa Senior Design Engineer Kai Hiitelä, joka varmisti että tehdyt kytkennät olivat kunnossa. Hiitelä lähetti myös sellaisen releen jälleenkytkentäpiirin parametrilistan, jolla kyseisen jälleenkytkennän tulisi toimia. Lopulta selvisi, että releessä ei ole valmiina ohjelmoitua jälleenkytkentäpiiriä, vaan sen toiminta on ensin ohjelmoitava releen sisäisesti käyttäen ABB:n PCM600 ohjelmaa. Konfigurointi tehdään kuvassa 10 näkyvän käyttöliittymän avulla, jossa eri signaaleja yhdistetään graafisesti toimintalohkoihin. PCM600-ohjelmalla siis määritetään suojauksessa käytettävät toimintasignaalit sekä niiden aiheuttamat toiminnot. Sähkölaboratoriossa oleva PCM600-ohjelma ei edelleenkään selvittämättömän vian vuoksi lähtenyt toimimaan, joten laitevalmistaja lupasi toimittaa uuden version ohjelmasta.

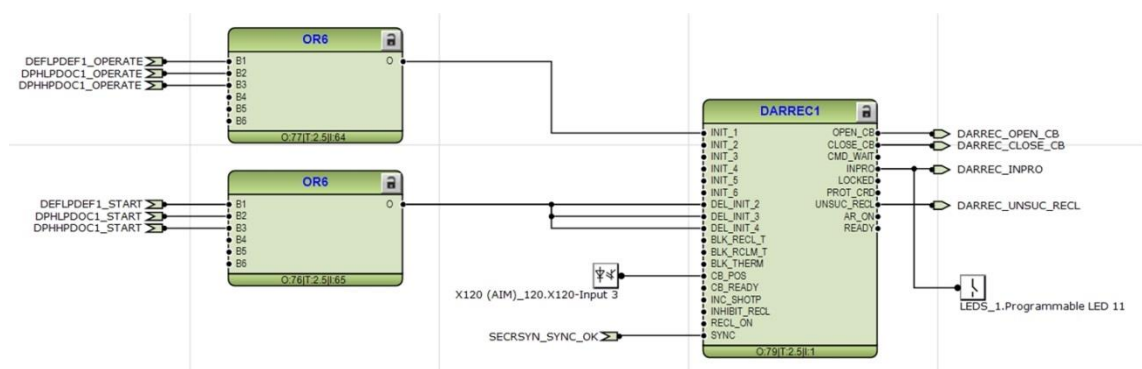
#### 4.3.5 Jälleenkytkennän toimintaan saatto

Laitetoimittajan edustajan saavuttua paikalle, alettiin tutkia releen käyttöönoton ongelmia. Mukanaan laitetoimittajalla oli myös uusi versio PCM600-ohjelmasta, jolla otettiin yhteys releeseen. Releessä olevan tuoteleiman (kuva 8) mukaan, on se määritetty toimimaan konfiguraatio J:n (vakiokokoonpano) mukaisesti. Selvisi että releen sisällä oleva ohjelmisto luuli puolestaan releen olevan aseteltu konfiguraatiolle ”E”. Tämä ristiriita esti releen ja PCM600-ohjelman välisen käytön, ja ainoaksi vaihtoehdoksi jäi releen

konfiguraation muuttaminen tietokoneella luokkaan ”J”. Toiminto pyyhki ensin vanhan ohjelmiston pois releestä, ja asensi tyhjän laitteiston päälle uuden. Tämä aiheutti myös kaikkien aiemmin aseteltujen parametrien häviämisen laitteen palautuessa tehdasasetuksiin.

Releen ohjelmallisen ristiriidan korjaaminen antoi nyt mahdollisuuden muokata asetuksia vapaasti, ja näin jälleenkytkentäpiiri saatiin konfiguroitua halutusti. Kuvassa 10 näkyy releeseen ohjelmoidut jälleenkytkentäpiiriin (DARREC) asetukset. Ylempään ”OR6”-lohkoon on asetettu suunnatun maasulkusuojauksen normaaliportas (DEFLDEF1), kolmivaiheisen suunnatun ylivirtasuojauksen normaaliportas (DPHLPDOC1), ja kolmivaiheisen suunnatun ylivirtasuojauksen pikalaukaisuportas (DPHHPDOC1). Kaikki nämä suojaustoiminnot antavat signaalin jälleenkytkentäpiiriin ”INIT\_1”-sisääntuloon. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jälleenkytkentäsekvenssi lähtee toimimaan samalla tavalla riippumatta siitä, mikä suojaustoiminto sen aiheuttaa.

Jos halutaan saada jälleenkytkentäsykli toimimaan aiemman laboratoriotyöohjeen mukaisesti, on käytettävä jälleenkytkentäpiirissä olevia signaalia viivästyttäviä sisääntuloja ”DEL\_INIT\_2...DEL\_INIT\_4”. Kuvan 10 alemmassa ”OR6”-lohkossa viedään samojen suojaustoimintojen havahtumistiedot jälleenkytkentäpiiriin signaalia viivästyttäviin sisääntuloihin, joille voidaan parametroida halutut ajat releen oman käyttöliittymän kautta. ”DARREC1”-lohkon lähtöihin aseteltiin katkaisijan auki ja kiinniohjaukset, tieto jälleenkytkennän mahdollisesta epäonnistumisesta, sekä ohjelmoitavan ledin syttyminen jälleenkytkennän ollessa meneillään.



KUVA 10. Releeseen ohjelmoitu jälleenkytkentäkonfiguraatio



Kun suojaustoimintojen parametrit oli aseteltu uudelleen aiemmin kerrotulla tavalla, voitiin jälleenkytkentää kokeilla. Ensimmäinen testaus tehtiin kolmivaiheisen ylivirtasuojauksen normaaliportaalla, käyttäen vakiolaukaisuaikaa. Jälleenkytkentätoiminnon parametreista tehdasasetusten parametreihin muutettiin taulukko 2:n mukaiset asetellut.

TAULUKKO 2. Jälleenkytkennän muutetut asetteluarvot vakiolaukaisuaajoilla

Parametri	Arvo
Tripping line	1
Control line	1
First reclose time	4 000 ms
Second reclose time	10 000 ms
Third reclose time	10 000 ms
Init signals CBB1	1
Init signals CBB2	1
Init signals CBB3	1
Shot number CBB1	1
Shot number CBB2	2
Shot number CBB3	3

Näillä asetteluarvoilla rele suoritti jälleenkytkennän ilman ongelmia. Katkaisijan kiinnioloaika jälleenkytkentöjen välissä pysyi vakiona. Seuraava testi tehtiin jälleenkytkentäsekvenssillä, missä laukaisuviivettä muutetaan. Jotta rele toimisi oikein, on huomiotava, että suojien laukaisuviiveen on oltava pidempi, kuin suurin jälleenkytkennässä esiintyvä laukaisuviive. Tässä tapauksessa suurin viive on 8 sekuntia, joten suojaustoiminnan toiminta-ajan on oltava  $> 8000$  ms. Tämä ehto täyttyy ylivirtasuojauksen normaaliportaalla, mutta maasulkusuojauksen 5 sekunnin toiminta-aikaa on nostettava, jotta haluttu sekvenssi saadaan suoritettua. Tällä kertaa tehdasasetuksista muutettiin parametrit taulukon 3 mukaisesti.

TAULUKKO 3. Jälleenkytkennän muutetut asetteluarvot laukaisuviiveillä

Parametri	Arvo
Tripping line	2
Control line	2
First reclose time	4 000 ms
Second reclose time	10 000 ms
Third reclose time	10 000 ms
Init signals CBB1	2
Init signals CBB2	2
Init signals CBB3	2
Shot number CBB1	1
Shot number CBB2	2
Shot number CBB3	3
Str 2 delay shot 1	1 000 ms
Str 2 delay shot 2	2 000 ms
Str 2 delay shot 3	2 000 ms
Str 2 delay shot 4	8 000 ms

Edellä mainituin asetteluin myös viivästetty jälleenkytkentäsekvenssi saatiin toimimaan.

#### 4.4 Laitteiston kotelointi

Jotta johdonsuojarele olisi valmiina opetuskäyttöön, täytyy se koteloida asianmukaisesti. Tätä osa-aluetta ei tässä opinnäytetyössä toteuteta, vaan annetaan suuntaa antavat ohjeet koteloinnin tekemiseen.

Kotelo olisi hyvä valmistaa läpinäkyvästä polykarbonaattilevystä, jonka paksuus tulisi olla vähintään 5 millimetriä laitteiston kestävyyskannalta. Läpinäkyvyydellä on tarkoitus mahdollistaa laitteen sisäisten liitännöiden tutkimisen, joutumatta kosketusalttiiksi jännitteisiin riviliittimien tai johtimien osiin. Relekyksikkö tulee koteloida niin, että kotelointi peittää relekyksikön takaosan jättäen sinne kuitenkin hyvin tilaa sisäisten johdotusten tekemiseen. Releen etuosan painikkeet ja näyttö tulee jättää peittämättä, jotta relettä pystytään operoimaan myös sen omasta käyttöpaneelistä. Myös releen etuosassa sijait-

seva RJ-45 portti jätetään peittämättä, jotta relettä voidaan käyttää tietokoneen välityksellä.

Riviliitinmoduuleilta tulee johdottaa tarvittava määrä riviliitinpisteitä kotelon takaosaan upotettuihin 4 mm naaraspuolisille banaani liittimille. Sisäinen johdotus tehdään esimerkiksi Draka MK 1,5- kuparijohtimella. Jotta tarvittavat suojaus- ja mittaustoiminnot saadaan suoritettua, vaaditaan oppilastyössä vähintään seuraavien riviliitinpisteiden tuomista koteloon upotettaville liittimille:

- X100- 1,2,6,7,16,17
- X110- 1,2,6,7
- X120- 2,3,4,7,8,9,10,11,12,13,14
- X130- 11,12,13,14,15,16,17,18

Jos relettä halutaan tulevaisuudessa käyttää erilaisissa oppilastoissa, tulee liitäntäpaikkojen vaatimukset tarkistaa uudelleen kotelointivaiheessa.

Rele saa apuvirtansa 230 V verkosta jännitemuuntajan kautta riviliitinmoduulin X100 liittimille 1 ja 2. Releessä ei ole varsinaista virtakytkintä, vaan releyksikkö käynnistyy aina kun pistoke liitetään pistorasiaan. Käyttömukavuutta ajatellen releen kotelointiin olisi hyvä upottaa käyttökytkin. Tähän tarkoitukseen sopisi esimerkiksi 10A ON-OFF keinuvipukytkin valolla. Kotelon päälle olisi myös hyvä porata muutamia reikiä (MAX halkaisija 2mm) laitteiston ilmanvaihdon varmistamiseksi.

#### **4.5 Laboratorioohjeet**

Relesuojaustekniikka 1- oppilastyön laboratorio-ohjeita muutettiin koskemaan työn suorittamista REF615-johdonsuojareleellä. Työohjeita päivitettiin uuden johdonsuojareleen käyttöön ja manuaaleihin liittyvillä asioilla. Vanhan työohjeen runko jätettiin ennalleen, esimerkiksi jälleenkytkentäsekvenssiä ei muutettu. Vanhojen tehtävien lisäksi työohjeisiin otettiin mukaan maasulkusuojauksen parametrintia, ja niihin lisättiin käänteisaikahidastusta ylivirtasuojauksessa käsittelevä lisätehtävä. Uudistetut työohjeet nähdään liitteessä 4.

## 5 POHDINTA

Tekniikan kehittyessä oppimateriaalien ja – opetuslaitteistojen on tärkeää olla ajan tasalla, ja opetuskäytössä olevan laitteiston tulisi vastata mahdollisimman hyvin todellisten sovellusten vastaavia välineitä. Koska TAMK:n sähkötekniikan laboratorio oli saanut uutta relelaitteistoa käyttöönsä ABB:lta, oli hyvä päivittää laboratorion suojalaitteistoa, ja saada releet hyötykäyttöön. Laboratorion keskijänniteverkkomalli on opetuskäytössä tarpeeksi monipuolinen ja edelleen hyväkuntoinen, joten sitä ei ole tarpeen uusien lähitulevaisuudessa.

Koska REF615-johdonsuojarele saatiin toimimaan opetuksessa halutulla tavalla, voidaan sillä korvata vanhempi suojarele SPAC 520 C. Ensin olisi kuitenkin hyvä koteloida REF615 kappaleessa 4.4 esitellyllä tavalla. Sähkölaboratorion tietokoneille tulisi myös saada toimiva versio PCM600-ohjelmasta. Vaikka relettä ei oppilastöissä ole välttämättä tarpeen käyttää tämän ohjelman kautta, voi vain sen avulla muuttaa releeseen sisään ohjelmoitua jälleenkytkentäkonfiguraation perusrakennetta. Tämä toimenpide voi olla välttämätön, jos relelaitteiston käyttötarkoitusta muutetaan tulevaisuudessa. Käytännön sovellutuksissa suojarelettä käytetään lähes aina kyseisen ohjelman kautta, joten laitteen käytön ammattimainen hallinta vaatii myös PCM600-ohjelman hallinnan.

Suuri kiitos Kai Hiitelälle ABB:lta, jolla oli aikaa ja mielenkiintoa tulla avustamaan releen käyttöönotossa eritoten releen sisäisen ohjelmistoristiriidan korjaamisessa sekä jälleenkytkentäpiirin konfiguroimisessa. Nykyajan suojarelelaitteistot ovat jo niin monipuolisia ja monikäyttöisiä, että pienimpäänkin käytössä ilmenneeseen ongelmaan törmätessään voi peruskäyttäjä joutua kahlaamaan satoja sivuja käyttöohjeita. Aiheeseen perehtyneiden tietotaito on tällaisissa tapauksissa varsin arvokasta. Tämän opinnäytetyön sisällöstä on myös varmasti apua releen tulevassa laboratoriokäytössä, sekä käyttönottajille että opiskelijoille. Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin, ja ammattikorkeakoulun opetuslaitteistoa saatiin ainakin yhdeltä osalta nykyaikaistettua.

## LÄHTEET

ABB. 2014. 615-series technical manual. Käyttöohje. Luettu 12.1.2015.

<http://abb.com>

ABB. 2014. 615-series operation manual. Käyttöohje. Luettu 12.1.2015.

<http://abb.com>

ABB. 2012. Feeder Protection and Control, REF615 Application Manual. Käyttöohje. Luettu 31.3.2015.

<http://abb.com>

ABB. 2012. Feeder Protection and Control, REF615 Product Guide. Käyttöohje. Luettu 31.3.2015.

<http://abb.com>

ABB. 2008. Johdonsuojarele REF615. Esite. Luettu 12.1.2015.

<http://abb.com>

ABB. 1997. Vakavoitu differentiaalirele SPAD 346 C. Käyttöohje ja tekninen selostus.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto Oy.

Elovaara, J. & Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. jatkopainos. Helsinki: Otatieto Oy.

Korpinen, L. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus. Sähköverkon automaatio ja suojaus. Luettu 21.1.2015.

[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/5sahkoverkon\\_automaatio\\_ja\\_suojaus.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automaatio_ja_suojaus.pdf)

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 2. uudistettu painos. Helsinki: Otatieto Oy.

Lappeenranta University of Technology. Opintomateriaali. BL20A0700 Sähköverkko-tekniikan peruskurssi. Vikavirtasuojaus.

[https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0700/luennot/vikavirtasuojaus\\_3.pdf](https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0700/luennot/vikavirtasuojaus_3.pdf)

Mäkinen, E. 20 kV avojohtomalli. TAMK/ Sähkölaboratorio

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. 2. korjattu painos. Helsinki: Otatieto Oy.

Partanen, J. 2011. BL20A0500 Sähkönjakelutekniikka. Maasulkusuojaus. Luettu 21.2.2015.

<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/maasulkusuojaus.pdf>

Tarkiainen, H. 2011. Sähkölaboratoriotyöohje. Relesuojaustekniikka 1. TAMK

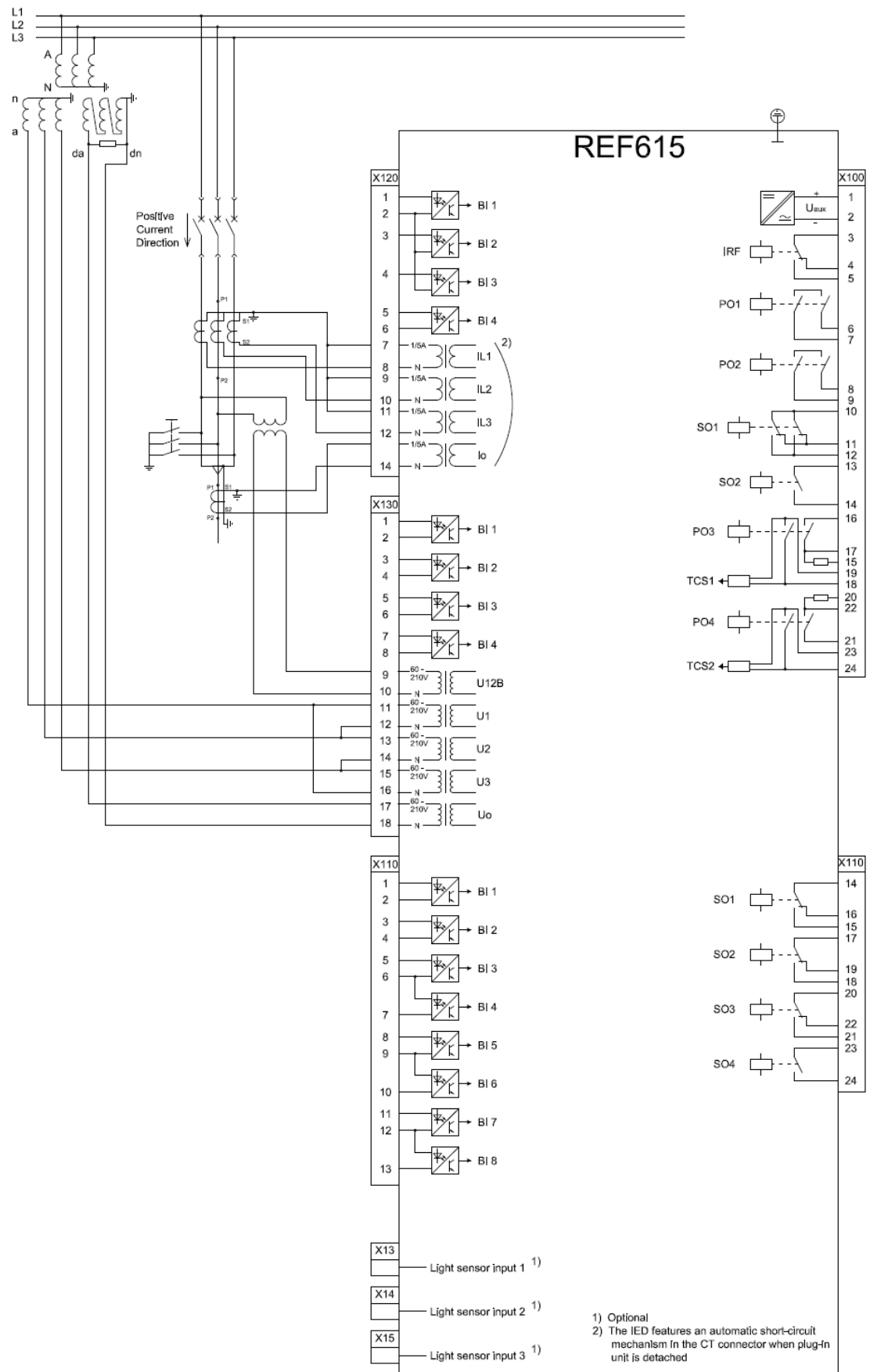
Tarkiainen, H. 2011. Sähkölaboratoriotyöohje. Relesuojaustekniikka 2. TAMK

## LIITTEET

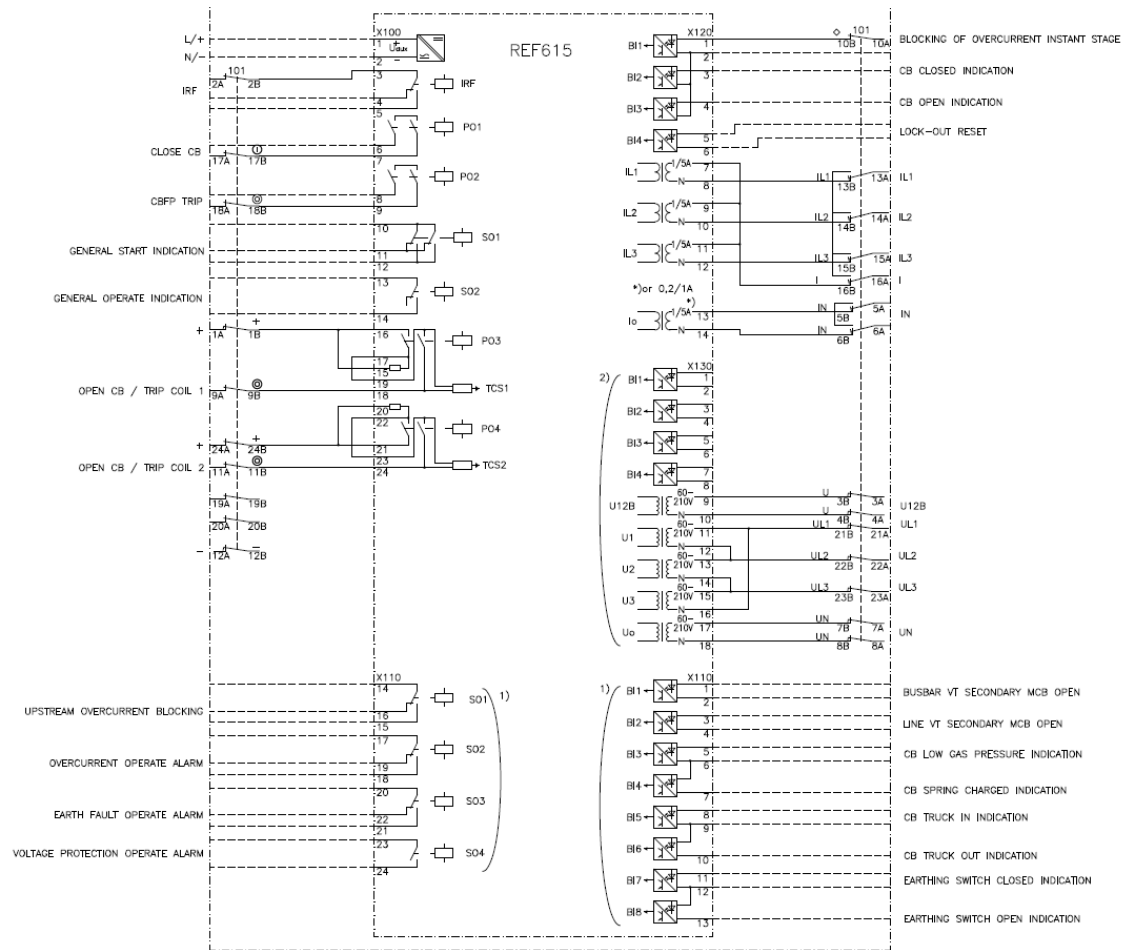
### Liite 1. Johdonsuojareleen REF615 tekniset tiedot (ABB 2008)

REF615-releen tekniset tiedot			Tekniset tiedot ovat REF615-releen tuoteoppaassa 1MRS756379			
Vakiokokoonpanot			Ylivirta ja suunnattu maasulku		Ylivirta ja suuntaamaton maasulku	
			A	B	C	D
Suojaus	IEC	ANSI				
Neliportainen kolmivaiheinen ylivirtasuojaja	3I <sub>&gt;</sub> , 3I <sub>&gt;&gt;(1)</sub> , 3I <sub>&gt;&gt;(2)</sub> , 3I <sub>&gt;&gt;&gt;</sub>	51P-1, 51P-2, 51P-3, 50P/51P	●	●	●	●
Kolmiportainen suunnattu tai suuntaamaton maasulkusuojaja	I <sub>φ</sub> →, I <sub>φ</sub> >>→, I <sub>φ</sub> >>>→	67N-1, 67N-2, 67N-3	●	●	-	-
Kaksoismaasulku	I <sub>φ</sub> >>	51N-2	●	●	-	-
Katkeileva maasulku	I <sub>φ</sub> → IEF	67N-IEF	●	●	-	-
Kolmiportainen suuntaamaton maasulkusuojaja	I <sub>φ</sub> >, I <sub>φ</sub> >>, I <sub>φ</sub> >>>	51N-1, 51N-2, 50N/51N	-	-	●	●
Suuntaamaton herkkä maasulkusuojaja	I <sub>φ</sub> > SEF	51N SEF	-	-	●	●
Kaksiportainen virran vastakomponentin mittaukseen perustuva ylivirtasuojaja	I <sub>2</sub> >, I <sub>2</sub> >>	46	●	●	●	●
Vaihekatkossuojaja	I <sub>1</sub> /I <sub>2</sub> >	46PD	●	●	●	●
Terminen ylikuormitussuojaja	3I <sub>th</sub> >	49F	●	●	●	●
Katkaisijavikasuoja	3I <sub>1</sub> > BF	51BF/51NBF	●	●	●	●
Kytkeänsäätövirran havaitseminen	3I <sub>2</sub> >	68	●	●	●	●
Itsepitotointo		86	●	●	●	●
Kolmikanavainen valokaarisuojaja	ARC	50L/50NL	○	○	○	○
Ohjaus						
Katkaisijan ohjaus	1 ↔ 0 CB		●	●	●	●
Yhden katkaisijan JK-automaattikka	0 → 1	79	○	○	○	○
Valvonta ja seuranta						
Katkaisijan tilan seuranta			-	●	-	●
Laukaisupiirin valvonta, kaksi laukaisukelaa			●	●	●	●
Mittaus						
Häiriötallennin			●	●	●	●
Vaihevirrat	3I	3I	●	●	●	●
Virran myötä-, vasta- ja nollakomponentti	I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> , I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> , I <sub>0</sub>	●	●	●	●
Vaiheiden summavirta	I <sub>0</sub>	I <sub>N</sub>	●	●	●	●
Vaiheiden summajännite	U <sub>0</sub>	V <sub>N</sub>	●	●	-	-
<b>Mittaustulot</b> Vaihevirrat: 1/5 A Summavirta: 1/5 A tai 0,2/1 A Summajännite: 100/110/115/120 V Nimellistaajuus: 50/60 Hz			<b>Tietoliikenne</b> ● = sisältyy tuotteeseen, ○ = valinnainen IEC 61850-8-1 ja GOOSE-palvelu MODBUS TCP ja RTU (valinnainen) Aikasykronointi Ethernet-asemaväylän avulla käyttämällä SNTP-protokollaa tai erillisen johdotuksen kautta käyttämällä IIRIG-B-aikakoodia			
<b>Binaaritulot ja -lähdt</b> Kolme binaarituloa, joilla yhteinen maa Yksi lisäbinaaritulo, jos U <sub>0</sub> -mittausta ei ole Kaksi kaksinapaista lähtöä sulkeutuvalla koskettimella ja laukaisupiirin valvonnalla Kaksi yksinapaista lähtöä sulkeutuvalla koskettimella Yksi signaallilähtö vaihtokoskettimella Yksi IRF-signaallilähtö vaihtokoskettimella Seitsemän binaarituloa ja kolme binaarilähtöä yhdellä valinnaisella laajennuskortilla ja toiset kuusi binaarilähtöä ja kolme binaarituloa toisella valinnaisella laajennuskortilla (vakiokokoonpanoissa B ja D)			<b>Apujännitesyöttö</b> Vaihtoehto 1: 48 - 250 V dc, 100 - 240 V ac; vaihtoehto 2: 24 - 60 V dc			
			<b>Mitat</b> Korkeus 177 mm (4U), leveys 177 mm (4U), syvyys 140 mm, paino 3,5 kg			
			<b>Työkalut</b> PCM600-työkalun versio 2.0, jossa on SP1, releen asetusten, signaalien konfigurointiin ja häiriötallentimen tietojen käsittelyyn Web-selainpohjainen käyttöliittymä (IE 7.0 tai uudempi) COM600-asema-automaattisarjan tuotteet, versio 3.2			

Liite 2. REF615-releen kytkentäkaavio vakiokokoonpanossa J. (ABB 2012. REF615, Application manual)



Liite 3. REF615-johdonsuojareleen kaavio sisääntuloista ja lähdöistä (ABB 2012.  
REF615, Application manual)





## Liite 4. Relesuojaustekniikka 1- oppilastyön uudistettu työohje

TAMK  
Sähkölaboratorio  
Heikki Tarkiainen

### Relesuojaustekniikka 1

1 (4)

19.9.2011/hta  
päivitetty 29.4.2015

### Relesuojaustekniikka 1

**Tavoite** Työssä perehdytään johdonsuojarele REF615 ominaisuuksiin ja käyttösovellutuksiin.

#### 1 Esitehtävät

Tutustu tämän työohjeen lopussa olevaan piirikaavioon, jossa on esitetty yksivaiheinen maasulkuvika avojohtoverkossa.

- 1.1 Selosta lyhyesti seuraavien nimityksien merkitys/tarkoitus maasulkuviassa.
  - a) Vikaresistanssi
  - b) Maasulkuvirta
  - c) Nollajännite
  - d) Summavirta
- 1.2 Esitä laskentakaavat (osoitinsuureilla) alla luetuille suureille maasta erotetun verkon maasulkuvian aikana. Käytä piirikaaviossa esitettyjä merkintöjä ja suureiden oletettuja positiivisia suuntia. Nimeä käyttämäsi suuretunnukset kaavojen jälkeen.
  - a) Maasulkuvirta
  - b) Nollajännite
  - c) Viallisen johtolähdön suojalaitteiden mittaama summavirta.

#### 2 Tutkimukset laboratoriossa

##### JOHDONSUOJARELE REF615

Johdonsuojareleen manuaalit löytyvät verkosta, tärkeimmät:

- Technical manual
- Application manual
- Terminal diagram, configuration J

<http://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref615-iec>

**Releestä** Releen asetuksien ja parametrien muokkauksessa käytetään verkkoselainpohjaista käyttöliittymää (WebHMI). Rele yhdistetään tietokoneeseen RJ45- liitoskaapelilla, käytä releen etuporttia.  
Yhteys releeseen **IP-osoitteella 192.168.0.254**.  
**Käyttäjä: ADMINISTRATOR, salasana: remote0004**

Releessä käytettävien suojaustoimintojen asetuksiin pääset valikosta:  
Settings → Settings → Current protection

Jälleenkytkennän parametrit:  
Settings → Settings → Control

Parametreja muuttaessa on ensin valittava "Enable write" ja sen jälkeen muutetut parametrit lähetetään releelle painamalla "commit".

**Yleistä** Sovellutuksia testataan tekemällä kytkennät sähköverkkomallin 20 kV avojohdolle. Oikosulkua verkkomallilla ei voi testata, mutta "oikosulkua" voidaan kokeilla asetteluvarvon yli nousevilla virroilla. Maasulkua voidaan kokeilla sekä maasta erotetulla verkolla että sammutetulla (kompensoidulla) verkolla esim. säätämällä vikaresistanssin arvoa välillä 0 ... ∞ Ω.

TAMK  
Sähkölaboratorio  
Heikki Tarkiainen

## Relesuojaustekniikka 1

2 (4)

19.9.2011/hta  
päivitetty 29.4.2015

Jälleenkytkentäyksikön toimintoja voidaan testata kokeilemalla pika- ja aikajälleenkytkentöjen käynnistymistä eri signaaleista. Asetteluarvoja voidaan muuttaa vapaasti.

Tee tarvittavat kytkennät käyttöohjeen perusteella (valvoja opastaa). Tarkastuta kytkentä valvojalla ennen jännitteiden kytkemistä! Laboratoriotyöskentelyssä on noudatettava kurssilla opittuja turvallisuusmääräyksiä. Jos olet jostakin asiasta epävarma, ota yhteys valvojaan!

**Huom! Pidä huoli, että releen sallittua 1 A maksimivirtaa ei ylitetä.**

**Asetukset** Käytetään releen ylivirta- ja maasulkusuojausta, sekä jälleenkytkentätoimintoa..

Tee kolmivaiheisen ylivirtasuojauksen toiminnasta seuraavanlainen:

- Vakioaikatoiminta, normaaliportaan ( $3I_{>->}$ ) havahtumisarvo  $0,55 \times I_N$  ja laukaisuaika 12 s.
- Valitse laukaisusignaalien itsepito siten, että signaalit eivät jää aktiivisiksi, kun mittaussignaali laskee alle havahtumiskynnyksen.
- Säädä pikalaukaisuportaan ( $3I_{>>->}$ ) asetteluarvoksi  $0,8 \times I_N$ .
- Pohdi mikä oli sopiva laukaisuaika pikalaukaisuportalle ja voidaanko tätä aikaa asetella tutkittavassa suojareleessä.

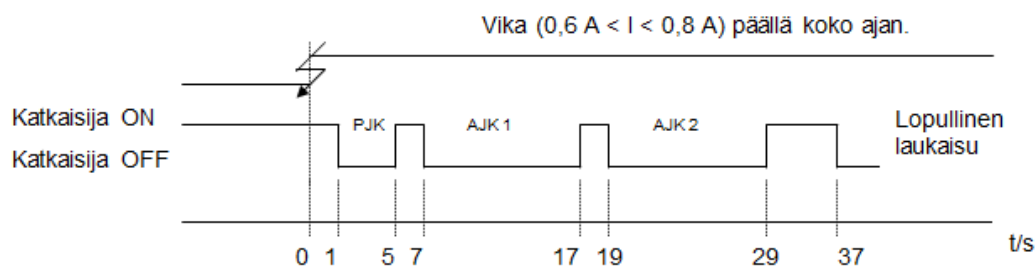
Tee maasulkusuojauksen toiminnasta seuraavanlainen:

- Vakioaikatoiminta, normaaliportaan ( $I_0>->$ ) havahtuminen maasulun vikaresistanssin alittaessa  $2000 \Omega$ , laukaisuaika 5 s
- Valitse laukaisusignaalien itsepito siten, että signaalit eivät jää aktiivisiksi, kun mittaussignaali laskee alle havahtumiskynnyksen.

Tee jälleenkytkentätoiminnosta seuraavanlainen:

- Pikajälleenkytkentä käynnistyy vain ylivirtayksikön normaaliportaan havahtumistiedosta.
- Aikajälleenkytkentä käynnistyy vain ylivirtayksikön normaaliportaan havahtumisarvosta.

Asettele muut toiminnot siten, että johtolähtöpaketti toimii ylivirtatilanteessa seuraavasti:



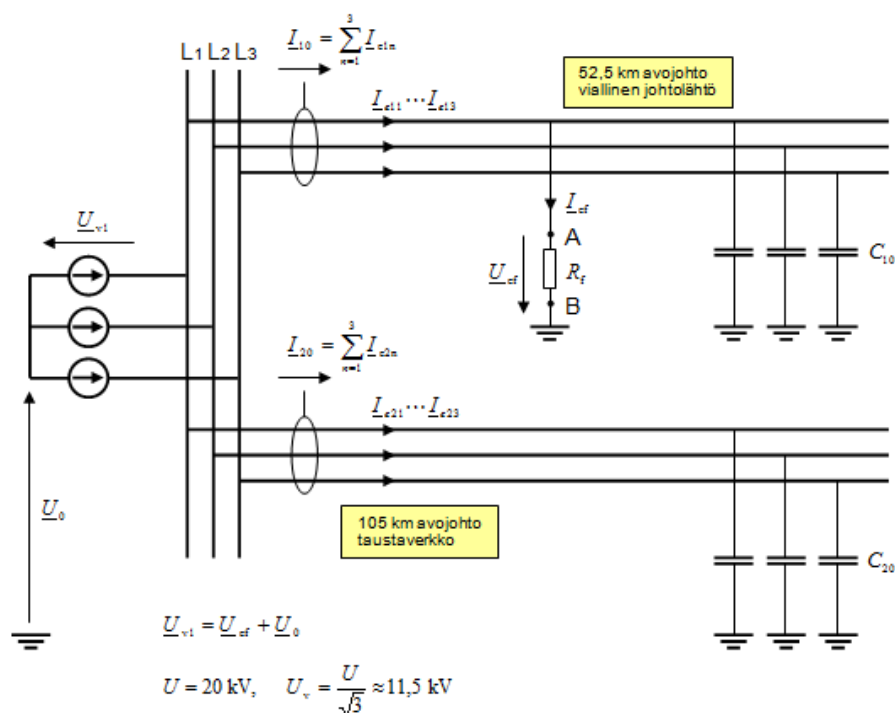
Tämän toiminnon testauksen jälkeen valvoja antaa lisätehtäviä ja -ohjeita.

**Lisätehtävä** Ota käyttöön ainoastaan kolmivaiheisen ylivirtasuojauksen normaaliportas ja säädä sen havahtumisarvoksi  $0,1 \times I_N$

Säädä ylivirtasuojauksen toiminta sellaiseksi, että havahtumisarvoon nähden kaksinkertainen vikavirta laukaisee suojauksen n. 3 sekunnissa, ja kuusinkertainen vikavirta n. 0,5 sekunnissa.

HUOM! Käytä apuna käänteisaikahidastusta ja IEC- standardin mukaista VERY INVERSE- käyräyrkkyyttä, ja sen kertoimia. (REF615, Technical manual)

## YKSIVAIHEINEN MAASULKU



C<sub>10</sub> ja C<sub>20</sub> ovat johtojen maakaapitasanssit yhtä vaihetta kohti. Ne saadaan esimerkiksi taulukoista eri johtolajeille ominaisina arvoina. 20 kV ajojohton maakaapitasanssi (käyttökapasitanssi) on noin 6 nF/km yhtä vaihetta kohti (maakaapelilla 200 – 400 nF/km).

**YKSINKERTAISTETTU SIJAISKYTKENTÄ** – Théveninin jännitelähdemalli navoille A – B (vikakohta)

